

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「数学と諸分野の協働による  
ブレークスルーの探索」  
研究課題「ダイナミクス全構造計算法の発展による  
脳神経-身体リズム機構の解明と制御」

## 研究終了報告書

研究期間 平成 21 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究代表者： 國府 寛司  
(京都大学大学院理学研究科、教授)

## § 1 研究実施の概要

### (1) 実施概要

本研究の目的は、様々な非線型現象に現れるダイナミクスの問題に対して、その力学系の相空間全体の構造を、Conley-Morse グラフの方法と呼ばれるトポロジーと精度保証付き数値計算の融合による新しい数的手法を用いて解析することで、現象のより良い理解や新しい応用の可能性を切り拓くことである。更に、ヒトや動物が動的に変動する環境に適応し、様々な活動を行うための基礎となる脳・神経系と身体系の協調的リズム機構を取り上げ、多様な歩行運動を記述する力学系や、それを制御する脳・神経ネットワーク力学系の相空間構造解析の観点からの解明を目指すものである。

特に本研究では、歩行運動などの複雑多様なダイナミクスを理解するための共同研究に取り組む中で、実際の歩行運動の計測で得られる力学系の時系列データから相空間構造の情報を直接に取り出すような新しい時系列解析法や、リズム現象の本質的な情報を担う位相記述を実データから直接に求める新しい方法を開発することができた。

前者の方法は、歩行運動だけでなく、様々な非線型現象に対し、不安定なダイナミクスも含めた相空間構造の情報を抽出する新しい方法として広い有用性があると考えられ、坂上チームとの合同セミナーを契機として、気象データの解析などの歩行とは異なる方向での研究も開始した。

後者の方法については、それを離散的なインパルス刺激を与えた歩行運動の計測を行ったデータに適用した結果、2足の安定歩行の位相差に小さな擾乱を加えても殆ど制御はされておらず、ある程度大きなずれが生じた場合に制御がかかる相互作用関数の形をしているという、2足歩行運動の、擾乱に対する制御に関しての興味深い結果が得られた。

さらに、ヒトの歩行運動を記述する複数の数理モデルについて、それらの相空間構造、特に安定な2足歩行に対応するアトラクタの吸引領域に対する、異なる数理モデルに共通のフラクタル様の幾何的特徴を説明する力学系の相空間構造を明らかにした。この相空間構造は、実際のヒトの歩行運動の計測データにも観察され、ヒトの安定な2足歩行運動の本質を理解する上での重要な手がかりとなると期待される。

これらの研究は、相空間全構造解析  $G$ 、ネットワーク結合力学系  $G$ 、身体力学  $G$  の3つのグループが、月に1回程度の合同ミーティングを核として緊密に連携して取り組んだ。その基本的な役割分担は、相空間全構造解析  $G$  は力学系理論に基づいて、歩行運動などのダイナミクスの問題に対する相空間全構造解析を行うための数的手法とそれを実現する計算機ソフトウェアの開発、および関連する数学的諸問題の解決を担当した。ネットワーク結合力学系  $G$  は特に位相縮約法を基礎として、リズム現象の解析や基礎理論の発展、およびリズム現象の数理モデルや計測データに対する新しい数的手法の開発を行い、それを実際の歩行運動の解析に応用した。身体力学  $G$  では、様々な計測手法により、ヒトやイヌなどを用いて歩行計測データを取得し、そのデータ解析から歩行運動の低次元構造や肢間協調の制御機構の解明を目指すと共に、それに基づいた数理モデルの構築や、ロボットによる機構の実現を通して、その理解の検証を行った。

研究期間の当初は、研究課題に対して3つのグループそれぞれの問題意識と研究方法に従って研究を行い、その成果をミーティングで発表した。次第に各グループの研究に対する相互理解が深まり、問題意識を共有して議論ができるようになった。特に身体力学  $G$  が様々な方法で取得した計測データとその解析結果を、相空間全構造解析  $G$  とネットワーク力学系  $G$  も加わったミーティングで提示し、3グループがそれぞれの視点から、データの内在的構造を捉えるかを議論する中で、共同研究や新たな課題が生まれ、それが研究の更なる展開につながった。このような3グループの緊密で有機的なつながりは研究の進展と共に強固になり、本研究の成果として実を結んだといえよう。

## (2) 顕著な成果

### <優れた基礎研究としての成果>

#### 1. ヒトの安定歩行の相空間構造解析

概要:コンパス型のシンプルモデルの安定な歩行に対応するリミットサイクルの吸引領域は状態空間上で細長くフラクタル様の複雑な形状をなすことが従来から知られていたが、その形成原理と制御による変化様式を直立静止状態に対応するサドルの安定・不安定多様体の構造と、足の接地・離地状態との位置関係より明らかにした。また、ヒトの歩行計測からも同様の幾何的特徴が一定程度観察された。これは歩行の吸引領域の形状の複雑性を、特定の歩行モデルに依存しない幾何的特性として解明した点に特色があり、ヒトの頑健で適応的な歩行制御機序の理解を格段に進展させるものである。

#### 2. 位相縮約理論とベイズ推定によるヒトの歩行における肢間協調制御の同定

概要:ヒトの歩行における肢間協調の制御機序の解明に向けて、左右の脚の運動をそれぞれリミットサイクル振動子と見なし、歩行力学系をその結合力学系と見なして解析した。具体的には、位相縮約理論とベイズ推定に基づいて開発した手法をヒトの計測データに適用した結果、肢間協調制御を示す振動子間の相互作用関数が得られ、左右の脚の運動は逆位相から大きく離れるとほぼ線形の復元力が働くが、逆位相近傍では相互作用の働かない領域を持つという非線形の制御構造が明らかとなった。

#### 3. 身体リズム運動の形成原理解明のための統合的方法論の確立

概要:身体リズム運動の形成原理解明のための、計測データ解析による法則性の抽出、神経筋骨格系の数理モデルによる力学解析、シンプルな数理モデルによる支配法則の解明、得られた知見を具体化したロボットによる機能検証の4つを用いた統合的な方法論を確立した。例えば、計測データの特異値分解からヒト歩行に内在する低次元構造を抽出し、それに基づく神経筋骨格モデルから神経制御系の役割を数理的に明らかにした。また、数理モデルとロボットを用いて、4脚動物の歩容遷移に見られるヒステリシスやムカデの蛇行形成、ヒト直立時の姿勢動揺などを説明する分岐構造を明らかにした。

### <科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

#### 1. 位相計算法に基づくダイナミクスの新しい時系列解析法の開発とその応用

概要:様々な非線型現象に見られるダイナミクスを観測して得られた時系列データから、不安定集合を含む力学系の相空間構造をモース分解の形で捉えるための理論的枠組みを与えた。これは、数理モデルに依らず、直接、ダイナミクスの情報を得る時系列解析の1つの方法として、従来の方法を補完するものであり、広汎な対象への応用が期待できる。具体例として、北半球の冬季気圧配置データを扱い、気象学者の経験的知見である特徴的な気圧配置パターンの遷移を、この方法によりモース分解の形で検出することに成功した。

#### 2. リズムを内在する実データの力学系理論に基づく新たな解析手法の提供

概要:歩行や神経活動などのリズムを内在する時系列データに対し、結合振動子系としてのシステムの応答特性(位相応答)やリズム間の相互作用関数の形や方向性も含めたネットワーク構造を推定する手法を開発した。肝要な点は、力学系理論に基づいた縮約力学系を直接データからベイズ統計を用いて推定できることである。この手法により、生物や経済等の多くのリズムを内在する幅広い時系列データに対して、結合力学系の側面から新たな意味を見出す解析手段を提供可能である。

#### 3. ヒト身体リズム運動の適応戦略の数理解明と運動障害の診断やリハビリへの展開

概要:本プロジェクトを通して、ベイズ統計の枠組みによる縮約力学系の推定方法や位相応答関

数の計測方法, 特異値分解に基づく低次元構造の解析方法など, 歩行を含めたヒトの身体リズム運動の計測時系列データから, ヒトの運動生成における適応戦略を示す構造を抽出する数理的方法論が確立され, それらの知見に基づいた数理モデルの構築や, その力学構造の解析方法が確立された. 現在, これらを活用した運動障害の診断や治療, リハビリなどへの応用を目指して, 障害患者や障害モデル動物の計測を開始したところである.

## § 2. 研究構想

### (1) 当初の研究構想

本研究の当初の構想は、第1のねらいとして、力学系の位相計算理論に基づいたダイナミクス全構造計算法と呼ぶ新しい方法や、位相縮約法を含む結合力学系の諸理論、さらに力学系の大域的分岐理論などの近年飛躍的に進展している力学系理論における様々な数理的方法を整備・改良し、非線型力学系の相空間の全構造解析、特にアトラクタとその遷移過程に関する情報からダイナミクスに対する理解を得る新しい数学的方法を開拓すること、第2のねらいとして、そのような相空間の全構造解析が有効であると考えられるテーマとして、ヒトや動物が動的に変動する環境に適応し様々な活動を行うための基礎となる脳神経系と身体系のリズム機構を取り上げ、それをダイナミクスの相空間全構造計算の観点からの数理的解析と、それに基づく制御メカニズムの工学的実証の双方からのアプローチによって、脳神経-身体リズム機構の理解と制御を目指すことであった。

これらの目標の達成を目指して、本研究では

(A)ダイナミクス位相計算理論に基づく相空間全構造計算法の整備と発展

(B)ネットワーク結合力学系のモデル化と解析に基づく機能発現メカニズムの解明

(C)身体リズム運動の数理モデルの構築とその制御機構の解明

の3つの研究課題を設定して研究の指針とし、それらに対応して、相空間全構造解析グループ、ネットワーク結合力学系グループ、身体力学グループの3つの研究グループを置いた。研究の実施にあたっては、グループごとに基礎的な課題から発展的なものまで複数の研究課題を設定して、各グループの研究者の専門性も考慮しつつ相互に協力して解決していくことで研究目標の達成を図るという計画であった。具体的に、グループごとの研究課題とその実施期間は以下のとおりとした：

#### **[A]** ダイナミクス位相計算理論に基づく相空間全構造計算法の整備と発展

(相空間全構造解析グループを中心に、ネットワーク結合力学系グループと身体力学グループが協力)

課題 A1:ダイナミクス全構造計算法の整備と発展(全期間)

課題 A2:ネットワーク結合力学系の相空間構造の解析(H21~H24)

課題 A3:回帰的ダイナミクスに対する位相計算的解析法の開発(H22~H24)

課題 A4:相空間全構造計算による力学系の遷移的ダイナミクスの解明(H23~H26)

課題 A5:位相計算的分岐理論の基礎付け(H22~H26)

#### **[B]** ネットワーク結合力学系のモデル化と解析に基づく機能発現メカニズムの解明

(ネットワーク結合力学系グループを中心に、相空間全構造解析グループと身体力学グループが協力)

課題 B1:身体リズム現象等を記述する結合力学系モデルの構築と解析(H21~H23)

課題 B2:相空間構造から見たアトラクタ間遷移と時空間パターンとの関係性(H23~H26)

課題 B3:実験データから推定した結合系の相空間構造の解析(H21~H26)

課題 B4:結合力学系のミクロな構造とマクロな挙動の関連づけ(H23~H26)

#### **[C]** 身体リズム運動の数理モデルの構築とその制御機構の解明

(身体力学グループを中心に、相空間全構造解析グループとネットワーク結合力学系グループが協力)

課題 C1:歩行における位相反応曲線の同定とシステムモデルの構築(H21~H24)

課題 C2:全身リズム運動の運動生成・調整機構の解明(H22~H26)

課題 C3:脚歩行における歩容遷移・切り替え機構の解明(H21~H25)

課題 C4:リズム調整機構を持つ歩行ロボットの開発(H22~H26)

## (2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

### ① 中間評価で受けた指摘や助言、それを踏まえて対応した結果について

本研究の中間評価結果は以下のとおりであった：

(1) 研究進捗状況：原理的に可能であるという枠組みと、それを実際に適用し、実用的時間内に結果が得られるかどうかの間には常にギャップがある。CM グラフの処理には一般的状況では膨大な計算資源と時間がかかり簡単ではない。國府チームは、その障壁を数理モデルの選択ではなく、時系列データから得られる相空間情報そのものが、むしろ有用であり、解析可能であることを示した。

いわゆる帰納的方法論から言えば、データに語らせるということは統計的手法として確立しているものである。しかしながら考えている力学系の大域的相空間構造を CM グラフという枠組みでデータから取り出すというのは、正に数学が深く関与することで得られた方向性であり、大きなインパクトがあり、他の類似研究の追隨を許さないものである。

時系列データに着目することにより複数の数理モデルを貫く相空間構造の情報が得られるという手法は、当初計画に含まれていたわけではないが、見方を変えれば、本来の趣旨にのっとった新たな展開であり、チーム全体としては、順調に進捗していると言える。今後は、この方向をより組織的、普遍的なものにすることが求められるだろう。

(2) 研究体制：互いに関係する数学、物理、工学系の3グループとはいえ、学問文化の違いもあり、実際は大変である。脳神経・身体リズムの解明と制御に向けて、何をチーム全体として目指すのか、その方向付けをすることは一言では語り尽くせない難しさがあると思われる。そのような状況の中、3グループの討論を通じて上述のような新たな方向を打ち出せたことは、代表者のリーダーシップが発揮され、チーム間の協力体制がうまく機能した一つの証拠だと考えられる。

(3) 今後の研究に向けて：新たに見出された方向を肉付けし、より普遍的かつ適用範囲の広い方法論に整備されてゆくことが望まれる。結果として新たな数理モデル構築の指針の一助にもなり得ると期待される。長期的には小脳疾患に伴う歩行障害の克服など、社会的インパクトのある目標実現がある。

力学系的方法論が臨床医療にまで直結することが、強く望まれるが、そのためには CREST 間協働など数学領域全体での方策が必要になってくると思われる。そのための方向付けを今後研究代表者とも協議して行きたい。

(4) 総合的評価：力学系理論と制御理論は近くて遠い。脳神経系と身体性はマイクロとマクロの階層性を内包し、さらに上述したように3グループの学問文化の微妙な違いもある。逆に言えば國府 CREST は協働を実現するには理想的チーム構成の下、その融合に日夜努力しているとも言える。結果として困難に当たったときに、どう解決していくかその方向性の模索において、このようなチーム構成の巧妙さが効果を発揮したように思われる。数学者が代表者とし CREST を推進する際に遭遇した困難な課題をチーム一丸となって解決を試み、一定の展望を得たことは極めて高く評価できる。今後の期待感は大い。

一方で、神経回路理論を発展させつつ、歩容運動の遷移解明とその制御に向けて、どこまで残りの期間で問題をうまく絞り込み、成果を得ることができるか、やや不分明なところもある。これについてもこの3グループの視点の違いをうまく融合して、真の協働成果を見せて欲しい。

(中間評価結果ここまで)

この中間評価結果を受けて、これまでの CM グラフのソフトウェアを、その適用範囲を広げ解析能力を向上させるために更に改良することや、関連する数理的課題の研究を更に進展させることに

取り組むと共に、歩行運動の計測データなどの時系列データから相空間構造や位相応答関数を直接的に得るための数理的方法の発展、および、それを計測によって取得されたデータに適用して、歩行運動の本質的理解を目指す研究を、チーム全体で協力して行ってきた。

- ② 中間報告書の「§ 7. 今後の研究の進め方、および研究成果の見通し」に記載した事項に沿って、研究を進めた結果について

中間報告書の該当部分に記載した事項は以下のとおりである：

今後の研究の進め方と研究成果の見通し

(1) 位相計算的時系列解析法の基礎理論の確立：

位相計算的時系列解析法に Conley 指数の計算を付加するための数学的正当化を目指す。これにより結合軌道などの高次のダイナミクスの情報を得る基盤ができる。また、実データに不可避なノイズの影響を考慮した位相計算的時系列解析の数学的基礎付けにも取り組む。この解析法の有用性と限界の解明は様々な力学系の数理モデルの解析にも極めて重要である。特に大規模で数学的解析が困難な歩行の精密な数理モデルにも一定のレベルの解析が可能になると期待され、本研究の有力な方法となろう。

(2) 力学系の実データ解析による様々な結合力学系や歩行・身体運動などの相空間構造解析：

これまでに開発した位相計算的時系列解析法や、リズム現象の位相縮約理論に基づく位相記述法を、様々な歩行・身体運動の計測で得られる実データに適用し、その有効性や限界を探るとともに、それを歩行のリズム運動の様々な側面からの解明への応用の可能性を検討する。背後に力学系を想定した実データの解析は、数学と他分野とつなぐ戦略目標への貢献にも重要な手法である。抽象的に言えば、本質的自由度のみを残した縮約力学系を、データから直接推定する戦略であり、非線形現象のデータ解析を行う上で、力学系のロバストな構造を指針に本質的情報を絞り込む一般的原理につながる可能性がある。

(3) ネットワーク結合 ODE 系の相空間構造解析：

結合構造が動的に変化するネットワーク上の結合力学系は、実用上も避けることはできない興味深い理論的テーマであり、その第一歩として拡散やリミットサイクル振動を基礎にした数理モデルを解析してきた。今後更にこれを拡張し、どのようなダイナミクスが見られるか、理論と数値計算により系統的に研究を進め、動的に変化するネットワーク結合力学系の数学理論の構築に貢献できるよう努める。

(4) 歩行運動のシンプルな数理モデルの導出：

本研究の将来的な目標として、動物の巧みな運動機能を持ったロボットの技術開発が考えられるが、技術開発を成功裡に進めるためには、まず対象の支配法則を徹底的に明らかにしておくことが必須であり、このためには、身体運動の支配原理を数理モデルとして明らかにすることが大切である。今後は、今までに得られた知見をもとに、システムモデルの低次元化を行いシンプルな数理モデルを導出して、それを基にして身体運動の支配原理を数理モデルとして解明する研究をより一層進めていきたい。

(ここまで)

この方針に従って研究を進めた結果、以下のような成果が得られた：

(1) 位相計算的時系列解析法の基礎理論の確立：

様々な非線形系に見られる複雑な現象を観測して得られた時系列データから、数理モデルに依らず、直接、ダイナミクスの情報を得る、力学系の時系列解析の方法の一つとして、不安定集合を含む力学系の相空間構造をモース分解の概念を用いて捉え、計算機を援用してそれをモースグラフと呼ぶ形で表示するための位相計算理論的枠組みと具体的な計算方法を与えた。また、現実の現象の計測から得られる時系列データに不可避のノイズの取り扱いについて考察し、一定の方法を提案した。これは従来の方法を補完するものであり、広汎な対象への応用が期待できる。

この位相計算的時系列解析法の1つの具体例として、北半球の冬季気圧配置データを扱い、気象学者の経験的知見である特徴的な気圧配置パターンの遷移を、この方法によりモース分解の形で検出することに成功した。これは、坂上 CREST チームとの合同セミナーを契機に始まった北大の気象学者との共同研究によるものである。

さらに、この位相計算的時系列解析法を、生命科学における遺伝子制御や代謝のネットワーク・ダイナミクスを抽象化した制御ネットワーク力学系についての Fiedler-望月理論と組合せて、FVS と呼ばれる制御ネットワークのグラフ構造の特別な頂点にあたる変数についての時系列データから、対応するネットワーク力学系の相空間のモース分解を原理的にはいくらかでも精密に求められるという理論的結果を得た。これはある概日リズムの制御ネットワークの数理モデルに適用され、数値シミュレーションによる相空間構造を良く再現することも確認できた。

### (2) 力学系の実データ解析による様々な結合力学系や歩行・身体運動などの相空間構造解析:

ヒトの歩行における肢間協調の制御機序の解明に向けて、左右の脚の運動をそれぞれリミットサイクル振動子と見なし、歩行力学系をその結合力学系と見なして解析した。具体的には、位相縮約理論とベイズ推定に基づいて開発した手法をヒトの計測データに適用した結果、肢間協調制御を示す振動子間の相互作用関数が得られ、左右の脚の運動は逆位相から大きく離れるとほぼ線形の復元力が働くが、逆位相近傍では相互作用の働かない領域を持つという非線形の制御構造が明らかとなった。

位相計算的時系列解析法を、身体力学グループで行っている2足歩行や4足歩行の計測実験データ(ヒトの歩行・走行遷移データとイヌのウォーク・トロット遷移データ)に適用して、それぞれの歩容に対応するモース成分を抽出することができた。また、それらの歩容の遷移に対応するモース成分の間の遷移軌道を求め、それをを用いた歩容の遷移についての研究を継続中である。

本プロジェクトを通して、ベイズ統計の枠組みによる縮約力学系の推定方法や位相応答関数の計測方法、特異値分解に基づく低次元構造の解析方法など、歩行を含めたヒトの身体リズム運動の計測時系列データから、ヒトの運動生成における適応戦略を示す構造を抽出する数理的方法論が確立され、それらの知見に基づいた数理モデルの構築や、その力学構造の解析方法が確立された。

### (3) ネットワーク結合 ODE 系の相空間構造解析:

常微分方程式(ODE)に CM グラフの方法を適用するために、その精度保証付き数値積分法として Lohner 法と Taylor モデルの方法の計算速度と計算精度を具体例に対して比較検討し、当初予想していた COSY を用いた Taylor モデルの方法よりも、CAPD を用いた Lohner 法の方が適していることが確認された。

また、ODE に対して CM グラフ計算を行う際に計算コストの削減が深刻な問題となるため、通常の正方格子グリッドではなく、より精密な像の囲い込みが可能な平行四辺形格子グリッドや、非一様グリッド分割方式の採用などの工夫を行うことが必須となるが、それに対しては、単調性の破れと非輪状性の破れという2つの重要な課題が明確になった。このうち、Conley 指数に関係する写像のホモロジー計算の障害となる非輪状性の破れの問題については解決できた。単調性の破れについても解決のための一定の方針は得られており、その方向で今後も継続して研究を行っている。

神経系や社会システムなど一般的なネットワーク結合力学系では、各素子の状態に応じてネットワークのリンク構造が変化することは自然である。これを考慮した動的ネットワーク上の資源の拡散・散逸力学系の解析を行った。その結果、拡散が散逸の効果より大きい場合、スケールフリー構造が自然に出現し、更に興味深いことに、結合強度や資源の量はマクロには定常な冪分布に従う統計的性質を示すが、ミクロには常に変化するかオス状態になる事が判明した。また、振動子系でも解析を行い、神経系に見られるシナプス学習則に対応して3タイプの状態(2値記憶、因果関係記憶、カオス状態)が自己組織的に出現する事が判明した。以上の結果より、動的なネットワーク結合力学系のダイナミクスはシンプルな系でも従来と異なる多様な解構造が相空間に出現することが分かった。



歩行や神経活動などのリズムを内在する時系列データに対し、結合振動子系としてのシステムの応答特性(位相応答)やリズム間の相互作用関数の形や方向性も含めたネットワーク構造を推定する手法を開発した。肝要な点は、力学系理論に基づいた縮約力学系を直接データからベイズ統計を用いて推定できることである。この手法により、生物や経済等の多くのリズムを内在する幅広い時系列データに対して、結合力学系の側面から新たな意味を見出す解析手段を提供可能である。

#### (4) 歩行運動のシンプルな数理モデルの導出:

コンパス型のシンプルモデルの安定な歩行に対応するリミットサイクルの吸引領域は状態空間上で細長くフラクタル様の複雑な形状をなすことが従来から知られていたが、その形成原理と制御による変化様式を直立静止状態に対応するサドルの安定・不安定多様体の構造と、足の接地・離地状態との位置関係より明らかにした。また、ヒトの歩行計測からも同様の幾何的特徴が一定程度観察された。これは歩行の吸引領域の形状の複雑性を、特定の歩行モデルに依存しない幾何的特性として解明した点に特色があり、ヒトの頑健で適応的な歩行制御機序の理解を格段に進展させるものである。

身体リズム運動の形成原理解明のための、計測データ解析による法則性の抽出、神経筋骨格系の数理モデルによる力学解析、シンプルな数理モデルによる支配法則の解明、得られた知見を具体化したロボットによる機能検証の4つを用いた統合的な方法論を確立した。例えば、計測データの特異値分解からヒト歩行に内在する低次元構造を抽出し、それに基づく神経筋骨格モデルから神経制御系の役割を数理的に明らかにした。また、数理モデルとロボットを用いて、4脚動物の歩容遷移に見られるヒステリシスやムカデの蛇行形成、ヒト直立時の姿勢動揺などを説明する分岐構造を明らかにした。

### ③ 上記①②以外で生まれた新たな展開について

上記の他に、以下のような新たな課題・テーマに取り組み、成果や展望を得た。

数理生命科学の分野で、ネットワークの結合関係の非線型性をなめらかな関数でなくステップ関数で表現した、**switching network** と呼ばれるある種の特異極限的ネットワーク結合力学系が重要な研究対象となっている。このようなネットワーク結合力学系は、その非線型性の単純さのために解析を大幅に簡易化することが可能であるが、海外共同研究者の **Mischaikow** らは、従来とは異なる方法でその **CM** グラフを構成できるという着想を得て研究を開始した。本研究では、**Mischaikow** と共同で、特に2要素の一般的な **switching system** の分類を行い、その一般的な相空間構造解析の予備的研究を行った。また、それに基づいて、その特異摂動として得られるなめらかな結合関係を持つネットワーク力学系に対しても同一の **CM** グラフで記述されるモース分解が取れることを示した。

歩行等の数理モデルに良く使われる区分連続なハイブリッド力学系におけるリミットサイクルの位相縮約法に関する理論を発展させた。ハイブリッド力学系の理論に基づいて、位相感受関数の従うハイブリッドな随伴方程式を導出し、簡単なモデルに関して得られた結果を数値シミュレーションと比較した。

上記の(2)力学系の実データ解析による様々な結合力学系や歩行・身体運動などの相空間構造解析の知見に基づいて、ヒトの運動生成における適応戦略を示す構造を抽出する数理的方法論や数理モデルの構築、その力学構造の解析方法が確立されたので、それを活用した運動障害の診断や治療、リハビリなどへの応用を目指して、障害患者や障害モデル動物の計測を開始した。

### § 3 研究実施体制

#### (1) 研究チームの体制について

##### ①「相空間全構造解析」グループ

研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	國府 寛司	京都大学理学研究科	教授	H21.10～
	上田 肇一	富山大学理工学研究部	准教授	H21.10～
	岡 宏枝	龍谷大学理工学部	教授	H21.10～
*	大林 一平	京都大学理学研究科	CREST研究員	H22.4～
*	森田 英俊	同上	CREST研究員	H23.4～
*	富田 望	同上	CREST研究員	H25.4～
	野村 真樹	京都大学 iPS細胞研究所	特定研究員	H22.4～
	一宮 尚志	岐阜大学医学部	准教授	H21.10～
	荒井 迅	北海道大学理学研究科	准教授	H21.10～
	松江 要	京都大学理学研究科	D2～D3	H21.10～H23.3
	宮路 智行	明治大学 研究・知財戦略機構	特任講師	H23.4～
	西口 純矢	京都大学理学研究科	D1	H26.4～

研究項目

- ・ダイナミクス全構造計算法の整備と発展
- ・ネットワーク結合力学系の相空間構造の解析
- ・回帰的ダイナミクスに対する位相計算法の開発
- ・相空間全構造計算による力学系の遷移的ダイナミクスの解明
- ・位相計算法的分岐理論の基礎付け

##### ②「ネットワーク結合力学系」グループ

研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	青柳 富誌生	京都大学情報学研究科	准教授	H21.10～
	中尾 裕也	東京工業大学 情報理工学研究科	准教授	H21.10～
	野村 真樹	京都大学文学研究科	特定研究員	H21.10～H22.3
	青木 高明	香川大学教育学部	准教授	H21.10～
*	太田 絵一郎	京都大学情報学研究科	CREST研究員	H21.10～
	田中 琢真	東京工業大学 総合理工学研究科	助教	H22.4～
	秦 重史	京都大学理学研究科	D2～D3	H22.4～H24.3
	早川 隆	京都大学医学研究科	D4	H23.3～
*	今井 貴史	京都大学情報学研究科	D3	H23.4～
	紅林 亘	東京工業大学 情報理工学研究科	D3～学振 PD	H26.1～
	白坂 将	同上	D1	H26.1～
	寺田 裕	京都大学情報学研究科	D1	H26.4～

### 研究項目

- ・身体リズム現象等を記述する結合力学系モデルの構築と解析
- ・相空間構造から見たアトラクタ間遷移と時空間パターンの関係性
- ・実験データから推定した結合系の相空間構造の解析
- ・結合力学系のミクロな構造とマクロな挙動の関連づけ

### ③「身体力学」グループ

#### 研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
○	青井 伸也	京都大学工学研究科	講師	H21.10～
	土屋 和雄	京都大学	名誉教授	H21.10～
	船戸 徹郎	電気通信大学 情報理工学研究科	助教	H21.10～
	荻原 直道	慶應義塾大学 工学部機械工学科	准教授	H21.10～
	繰生 紘史	同志社大学工学研究科	M1～M2	H22.1～H23.3
*	大島 裕子	同志社大学理工学部	研究員	H22.4～
	富田 望	京都大学理学研究科	CREST 研究員	H22.4～H25.3
	細川 哲朗	同志社大学工学研究科	M2	H22.4～H23.3
	森島 智史	同上	M1～M2	H22.4～H24.3
	柳原 大	東京大学大学院 総合文化研究科	准教授	H22.4～
*	藤木 聡一朗	京都大学工学研究科	D1～D3	H24.4～
	辻内 伸好	同志社大学理工学部	教授	H25.4～

### 研究項目

- ・歩行における位相反応曲線の同定とシステムモデルの構築
- ・全身リズム運動の運動生成・調整機構の解明
- ・脚歩行における歩容遷移・歩容の切り替え機構の解明
- ・リズム調整機構を持つ歩行ロボットの開発

#### (2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

本 CREST 研究は、国内外の関連する分野の研究者との協働も得て行われた。また、研究の進展に伴って、新たな連携ができ、その研究ネットワークはさらに拡大し、強固になっている。そのような国内外の連携研究者について、主要なものを以下に挙げる。

米国・ワトガース大学の Konstantin Mischaikow 教授、Shaun Harker 博士、ブラジル・サンパウロ大学の Marcio Gameiro 博士、現在はオーストリア・IST 研究所の Pawel Pilarczyk 博士らとは、主として代表者・國府のグループの当初から海外共同研究者として、CM グラフの方法の数学的基礎とアルゴリズムの開発やソフトウェアの実装を協力して行ってきた。このために複数回の開発者会議を開催した（そのうちの一部は本 CREST 研究の一環として JST 国際強化支援の補助も得た）。また、上記の研究者と協力して、この分野と関連する研究を行っている国内外の研究者も招いて、国際的な研究会を複数回開催した。

坂上チームの代表者・坂上貴之氏の呼びかけで、同チームとの合同セミナーを札幌で開催した。そこで、坂上氏から気象学者である北海道大学・准教授の稲津将氏を紹介され、気象データに対する位相計算の時系列解析の共同研究が始まった。これは一定の成果を得て、既に複数回の研

究発表を行い、論文の準備を行っているところであるが、さらに今後も新たな研究費を獲得して研究を継続する予定である。

平成 23 年 12 月に京都大学でカオス研究誕生 50 年を記念する国際シンポジウムが開催されたが、そこで基調講演者として参加した米国・プリンストン大学の Philip Holmes 教授は力学系理論における著名な研究者であると共に、昆虫の歩行に関しても興味深い研究を行っており、国際シンポジウム後に、同氏や東大の合原一幸教授らを招いて小研究集会を行った。Holmes 教授とはその後も國府が台湾の研究会に共に招待される機会などで、交流を継続している。

理研・主任研究員の望月敦史氏とドイツ・ベルリン自由大学の Bernold Fiedler 教授らは、生命科学における遺伝子やタンパク質などの様々な制御ネットワークのダイナミクスを数学的に抽象化した制御ネットワーク結合力学系の共同研究を行っているが、代表者の國府は両者と以前から交流があり、理論の発展の段階から様々な機会に議論を行っていた。その過程で、本研究の位相計算的時系列解析法が彼らの理論と密接な関係があることが認識され、3者にそれぞれの研究協力者を交えた共同研究が開始された。既に一定の成果が得られており、それを論文にまとめるとともに、今後も研究を継続する予定である。

代表者の國府は以前からイギリス・Bristol 大学の Alan Champneys 教授と交流があったが、平成 26 年 3 月に開催した CREST-SBM 国際会議に同氏を招待講演者として招いたことを契機に研究上の連携が始まり、26 年 7 月に主たる研究分担者の青井らが Bristol 大学を訪問して、Champneys 教授や同大学の John Macdonald 博士、Jeremy Burn 博士らの研究グループと Bristol 大学においてワークショップ (Bristol-Kyoto Workshop on Stability and Control of Bipedal Locomotion) を開催し、歩行の数理モデルに関する共同研究も始まった。その後も、Skype を用いたミーティングを数回行い、また、SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems (Snowbird, Utah, USA, May 17-21, 2015) において、Minisymposium を共同で開催する予定である。この Minisymposium では、上記の Philip Holmes 教授も講演者として招くことになっている。

また、主たる研究分担者の青柳は、CREST の成果の 1 つである位相振動子ネットワークのデータ解析手法を用いて、平成 26 年度より同志社大学の合原一究博士とカエルの鳴き声のコミュニケーションズに関する共同研究が始まっており、成果は平成 26 年 12 月の国際会合 The 19th Auditory Research Forum で発表予定である。また、ネットワークが変化する動的ネットワーク上の結合力学系に関しては、香川大学教育学部の村山聡教授グループとの共同研究(江戸期の村落の社会ネットワークの解析にネットワーク結合力学系の数理モデルからアプローチする)が、研究参加者の青木が仲介となり開始している。既に、香川大学地球ディベロップメントサイエンス国際コンソーシアム(International Consortiums for Earth and Development Sciences)主催で、数理地理モデリング研究会(26 年 10 月 10 日から 12 日)で成果の一部を発表している。位相縮約の理論の脳科学への応用に関しても、京都大学医学研究科(金子武嗣教授、日置寛之助教)との共同研究(抑制ニューロンのシナプス結合部位の特殊性に関する同期特性からの機能的意義の検討)を開始しており、新学術領域「メゾ神経回路」の 26 年 9 月 30 日の班会議で一部の成果を発表した。以上のように、ネットワーク結合力学系の理論的研究に関しては学際的分野(特に香川大学とは人文系である)との共同研究が進みつつある。

## § 4 研究実施内容及び成果

### 4.1 ダイナミクス位相計算理論に基づく相空間全構造計算法の整備と発展 (京都大学 國府寛司「相空間全構造解析」グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

本グループの研究の主要な数学的手法であるダイナミクス全構造計算法(Conley-Morse グラフの方法, 以下 CM グラフの方法と略称)は, 時間発展する様々な非線型現象に対し, そのダイナミクスの情報を得るために, 精度保証付き数値計算, グラフ・アルゴリズム, 計算ホモロジー論を融合した位相計算法という計算機支援解析によって, 力学系の相空間全体の構造の外近似を与えるものであり, 散逸的な力学系の相空間の(有界部分の)全構造を, 原理的に次元による大きな制約を受けずに扱える新しい有力な方法として注目されている。

この研究項目では, この CM グラフの方法や力学系の大域的分岐理論などの, 近年飛躍的に進展している力学系理論における様々な数理的方法を整備・改良し, 力学系の相空間全体の構造の解析から非線型現象のダイナミクスに対する理解を得る新しい数学的方法を開拓することや, それを歩行などの身体リズム運動の数理モデルなどの様々な非線型力学系に適用し, ダイナミクスの相空間構造の観点からの数理的解析を行うことを目的とした。

研究の実施方法は大きく(1)CM グラフの方法の整備・改良とそれに関わる数学的な課題の解決, (2)ネットワーク結合系や歩行力学系などのような本研究のテーマに密接に関わる様々な力学系に対して CM グラフの方法などを適用した相空間構造解析と, そこで発生する諸問題の解決である。

研究期間の後半では, 特に, 中間報告時点前後に始まった新たな展開として, 数理モデルに依存せず, 現象のダイナミクスに対する計測によって取得される時系列データから, CM グラフの方法に基づいて元の力学系の相空間構造の情報をモース分解の形で抽出する, 位相計算的時系列解析法についての研究に重点を置いた。

具体的な研究課題としては以下のものを挙げた:

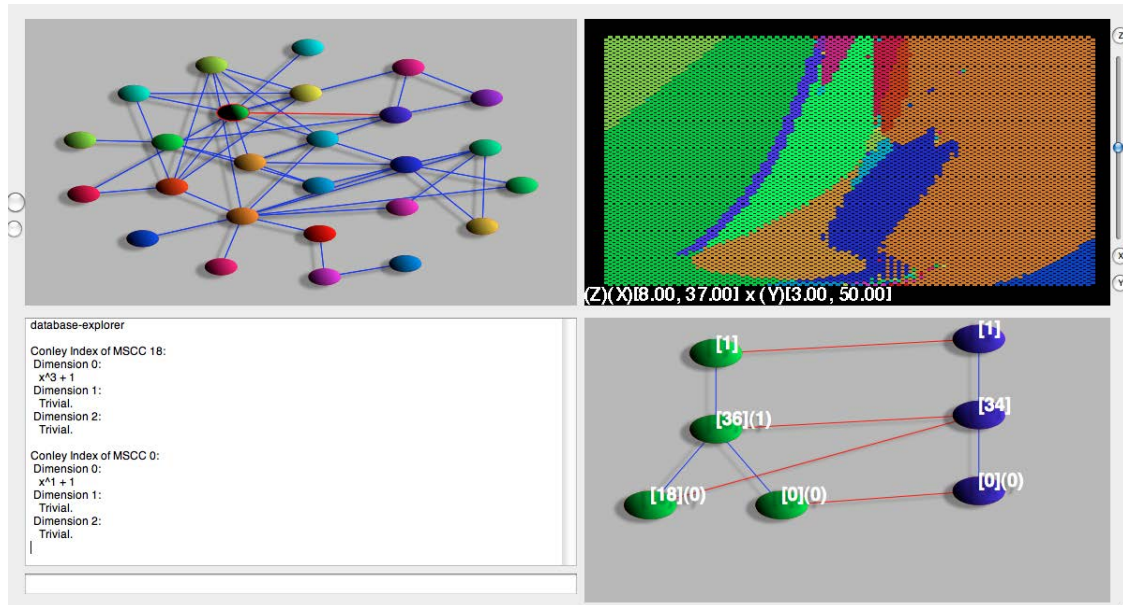
- ・課題 A1: ダイナミクス全構造計算法の整備と発展
- ・課題 A2: ネットワーク結合力学系の相空間構造の解析
- ・課題 A3: 回帰的ダイナミクスに対する位相計算的解析法の開発
- ・課題 A4: 相空間全構造計算による力学系の遷移的ダイナミクスの解明
- ・課題 A5: 位相計算的分岐理論の基礎付け

以下, 課題別に説明する。

#### 【課題 A1: ダイナミクス全構造計算法の整備と発展】

##### (a) Conley-Morse グラフの方法の改良版ソフトウェアの開発

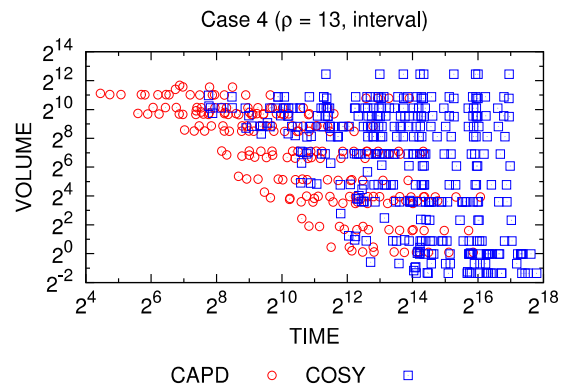
海外共同研究者 Mischaikow らのグループと協力して CM グラフの方法のソフトウェアの改良を進めてきたが, 23 年度にその試作版を完成させ, その後も改良を重ねている。この改良版では, 計算コストの軽減などの技術的改良に加えて, 特に隣接するパラメータグリッドの間での Morse 分解の関係を表す **clutching graph** を用いて, Morse 分解の差異からダイナミクスの変化の情報を抽出する機能を付加した。また, それらを統一的に表示(次図)して計算結果の解析に役立てる **viewer** を作成した(ただし現時点では動作は Mac のみ)。



この改良版に取り入れられたアルゴリズムやその基礎的数学理論をまとめて学術誌 *Chaos* に発表した。(研究業績 60 の文献)

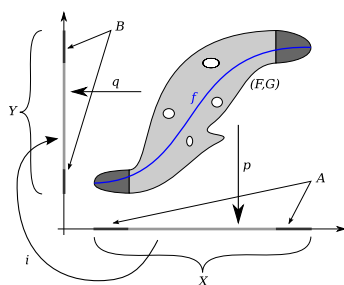
(b) 連続時間の力学系(微分方程式)に対する Conley-Morse グラフの方法の開発

微分方程式の相空間全構造計算のために、CM グラフの方法と Lohner 法や Taylor モデルの方法などの精度保証付き数値計算法を組合せた新たな計算法の開発を行った。微分方程式の数値積分法として、Lohner 法と Taylor モデルの方法の有効性を、計算速度と計算精度の総合評価で比較検討するために、Lorenz 方程式などの具体例についての試行的計算を行い、CM グラフの方法には、当初予想していた COSY を用いた Taylor モデルの方法よりも、CAPD を用いた Lohner 法の方が適していることが確認された。

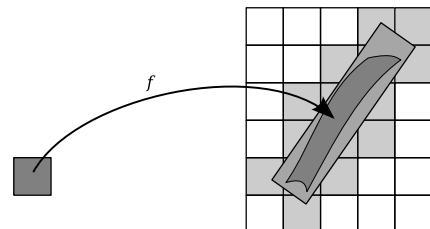


また、これに関連して、Taylor モデルの方法を用いた微分方程式のポアンカレ写像の CM グラフの計算方法を与えることができ、それを *quantic van der Pol* 方程式の連立系などに適用して、その有効性を確認した。

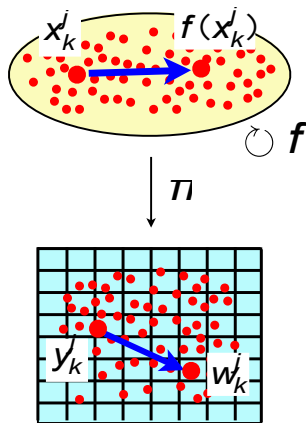
ODE に対する CM グラフソフトウェアの整備のために、いくつかの具体例に適用して検討を行ったが、その過程で、単調性の破れと非輪状性の破れという2つの重要な課題が明確になった。これは、ODE に対して CM グラフ計算



を行う際に計算コストの削減が深刻な問題となるため、写像に対する CM グラフ計算での通常の正方形格子グリッドではなく、より精密な像の囲い込みが可能な平行四辺形格子グリッドや、非一様グリッド分割方式の採用などの工夫を行うことが必須となり、その開発を行う中で認識された問題である。このうちの非輪状性の破れは、Conley 指数に関する写像のホモロジー計算のための障害となる問題であるが、これ



and choose  
consisting of finite segments of orbits:



ata set

のソフトウェアを公開した。また結果を論文にまとめて発表した(研究)破れについては解決のための一定の方針は得られており、その方向計画である。

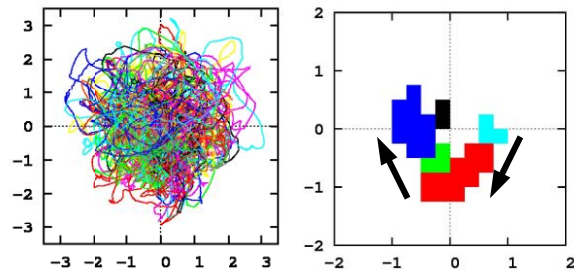
法の開発

様々な力学系の具体例に CM グラフの方法を適用する試みを行う中で、現象を記述する数理モデルを1つ選んで、それに対して CM グラフの方法を適用するだけでなく、現象から計測によって取得した時系列データに対して CM グラフの方法を直接的に適用することが有効であるとの認識が得られてきた。そこで、対象とする現象のダイナミクスの相空間構造の情報を、特定の数理モデルに依存しない得るための数的方法として、CM グラフの方法に基づく位相計算的時系列解析法の基礎理論と具体的な計算方法の開発を行った。

ある現象のダイナミクスに対し、それを支配する力学系の不安定集合を含む相空間構造をモース分解の形で捉えるための数学的枠組みを与えた。これは、従来の遅延座標によるアトラクタ埋め込みに基づく力学系の時系列解析の方法と異なり、埋め込みを仮定しないことや未知の力学系の不安定ダイナミクスの検証が可能であるなどの

利点を持ち、従来の力学系の時系列解析法を補完するものとして有用であると期待される。これを試験的に、簡単なネットワーク結合系や身体力学グループの実験的研究で得られたデータなどに適用してその有用性も確認した。

具体的な時系列データに対する解析を試みた結果、Conley index なしの Morse グラフだけでも十分な相空間構造の情報が得られることが少なくないと思われるので、特に実験・計測データの時系列解析方法としては、Morse グラフを用いた解析方法の整備を進めることが重要である。また、より現実的な応用のための時系列データにおけるノイズの影響を考慮した CM グラフの方法の改良についても検討し、その1つの応用として冬季の気象観測データを扱って、気象学者が経験的に知っている気象パターンの遷移を確認する結果を得た。この部分は坂上 CREST との合同セミナーに始まる気象学者との共同研究である。

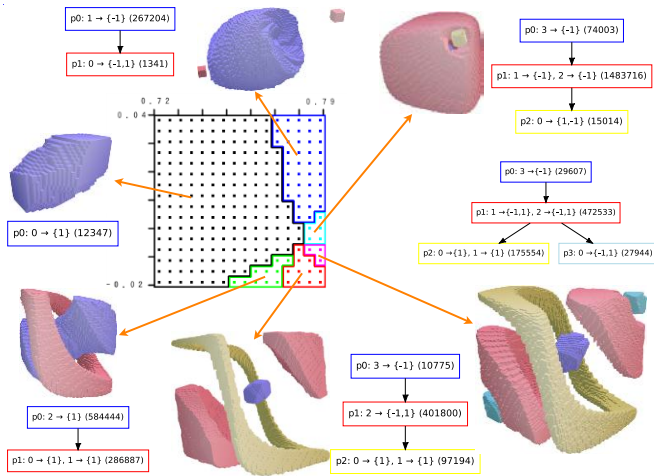


【課題 A2: ネットワーク結合力学系の相空間構造の解析】

(a) 様々なネットワーク結合力学系の具体例の相空間構造解析

Hopfield 型連想記憶ニューラルネットワークモデルに対し、ネットワーク結合力学系グループの協力を得て、20 ニューロン程度までの小規模の場合について、その相空間構造、特にアトラクタとその吸引領域の構造を CM グラフの方法により解析し、埋め込む記憶パターンが2個までは相空間構造は極めて単純で、ニューロン数によらない一般的な構造を持つことがわかった。さらにその相空間構造を用いて、記憶パターンとの類似度の時間発展が非単調になる現象や、記憶パターン数が増えた場合の疑似記憶の発生などの数理解が得られた。一方で、メモリなどの制約のために大型計算機を用いても、20 ニューロン以上では CM グラフの方法の適用は原理的にほぼ不可能であり、従来の研究で扱われている規模のニューロン数をこの方法で扱うことは期待できないことが判明した。

GCM と呼ばれるロジスティック写像の大域結合系については、2個および3個のロジスティック

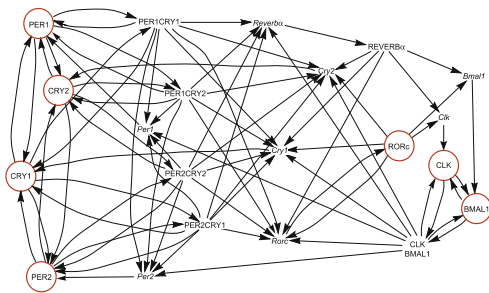


写像の結合系に対し、CM グラフの方法を用いた計算を行った。また、軌道の分布状態や近似的有効次元の時間変動など、先行研究で用いられた計算方法による計算結果との比較も行い、CM グラフの方法による相空間構造解析の有用性や限界を調べた。

さらに CML(Coupled Map Lattice) と呼ばれる GCM とは異なる結合カオス振動子系についても CM グラフの方法を用いた計算を行った。この力学系では、安定および不安定な不変円周とそのパラメータ変化に伴う分岐構造が先行研究で重要な研究対象とされて

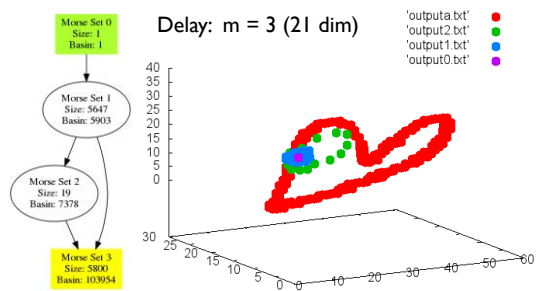
いるが、CM グラフの方法によってそれが明確に捉えられることが確認され、この方法の有効性が示された。この結果は上記の課題 A1(a)で述べた論文に収録して公表した。

(b) 制御ネットワーク系の相空間構造解析

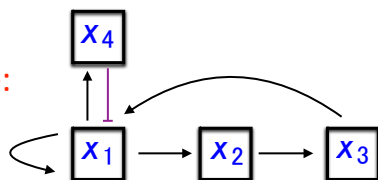


生命科学における遺伝子制御や代謝のネットワーク・ダイナミクスを抽象化し、遺伝子・タンパク質の制御モデルやシグナル伝達系のモデルなどを一般的に定式化した、制御ネットワーク結合力学系に対する Fiedler-望月らによる最近の結果と、位相計算法に基づく時系列解析の方法を融合させ、制御ネットワークのグラフ構造の feedback vertex set と呼ばれる特定の頂点集合における変数に関する解の情報を時系列データとして取り出すことで、対応するネ

ットワーク力学系の相空間のモース分解を原理的にはいくらでも精密に求められるという理論的結果を得た。また、それを概日周期の制御ネットワーク系の数理モデルに適用し、数値シミュレーション結果と整合する Morse 分解が得られることが確認された。これは、位相計算法の時系列解析の方法を用いた数学的に厳密な相空間構造の情報を保証する最初の結果として重要であり、今後もこの方向の研究を継続していく予定である。

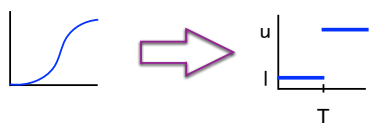


Conjecture:



cannot'produce'  
experimentally'  
observed'dynamics.

Network:



同研究者の Mischaikow ら [グラフを構成できるという着目]では、Mischaikow と共同で、system の分類を行い、その研究を行った。また、課題



A5 に関連して、その特異摂動として得られるなめらかな結合関係を持つネットワーク力学系についても調べた。

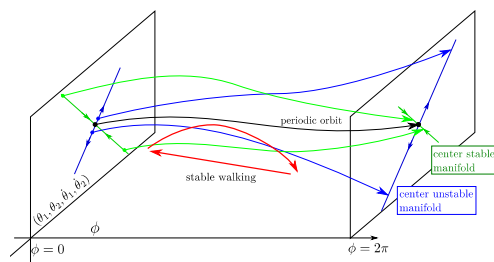
【課題 A3: 回帰的ダイナミクスに対する位相計算的解析法の開発】

(a) 短サイクルの方法の開発とその応用

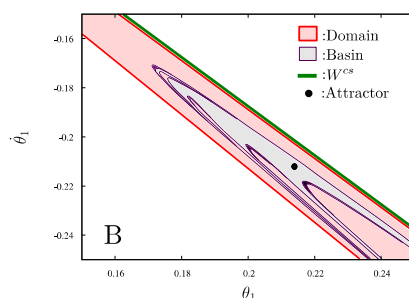
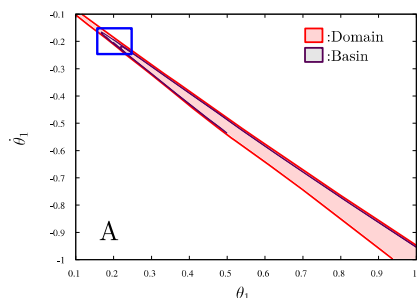
課題 A2(b)の GCM の回帰的ダイナミクスの解析のために短サイクルの方法と呼ぶ回帰的不変部分集合を抽出する方法を開発した。これは、回帰的不変集合である Morse 成分の外近似を与える部分有向グラフの中の周期の短いループを検出し、それを孤立性の条件をみたすように膨らませて回帰的不変部分集合を求める方法であり、GCM を含むいくつかの具体例で、複数の孤立不変部分集合を抽出することに成功し、回帰的不変集合の内部構造を調べるために有用と期待できることがわかった。

(b) 様々な歩行モデルの相空間構造解析

ヒトの歩行運動を説明する低次元数理モデルとして、位相振動子とコンパス型数理モデルを統合した3次元力学系モデルのダイナミクスの相空間構造解析を行った。これは脚の接地・離地による不連続な切り替えを含むいわゆるハイブリッド力学系であり、歩行運動はその力学系の漸近安定な周期軌道と見なせる。



その相空間は受動歩行や神経系における CPG の数理モデルとしての振動子駆動などにより、その次元さえも異なるが、相空間から抽出した多数の時系列データの解析から、その相空間構造、特に安定な周期軌道の吸引領域の構造において、複数の数理モデルを貫く共通の構造があることがわかった。特に、直立姿勢に対応する不安定平衡状態が歩行の周期軌道の近傍に存在し、その不安定性(双曲性)が吸引領域の大きさや形状を決定する重要な要素となっていることが示唆される結果が得られた。



より具体的には、吸引領域が相空間内である方向には極めて薄くフラクタル的な

複雑な形状をしていることが、双曲型力学系理論の基本的な結果である  $\lambda$  補題(傾き補題)によって説明できた。この結果は、歩行の安定周期軌道の吸引領域についての複数の数理モデルに共有される結果であり、身体力学グループが行った歩行運動の計測データでも、これに対応する解析結果が得られており、歩行運動の理解と制御に重要な意味を持つと考えられる。なお、身体力学グループでは、ヒトの直立状態での動揺運動についても詳細なデータの解析を行っている。

さらに、コンパス型数理モデルを脚にバネを付加したモデルに発展させ、身体力学グループが行っているヒトの歩行・走行の運動計測とデータ解析と関連させて、歩行・走行の生成と遷移を説明する力学構造の解析も行っている。

【課題 A4: 相空間全構造計算による力学系の遷移的ダイナミクスの解明】


(a) 位相計算的時系列解析法による遷移ダイナミクス解析の基礎付け

課題 A1(c)で開発した位相計算的時系列解析の方法に対して、未知の力学系のモース分解の情報を与える数学的な条件を明確にした。モース分解は、ダイナミクスの回帰的成分の外近似として捉えられるモース成分と、それら間の結合関係を表す結合軌道から成るものであり、そのような

モーソ分解がどのように崩壊するかを調べることで、遷移ダイナミクスについての理解が得られると期待される。

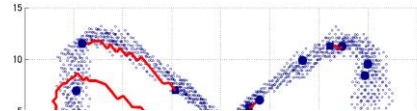
この方法の数学的基礎をさらに強固にするためには、モーソ成分が単なる孤立不変集合であるという情報だのダイナミクた時系列データ様々な数学法によって不可避的に的研究など

## 全データのMorse成分


 Trial1(1.7m/s)の1回目のRWT

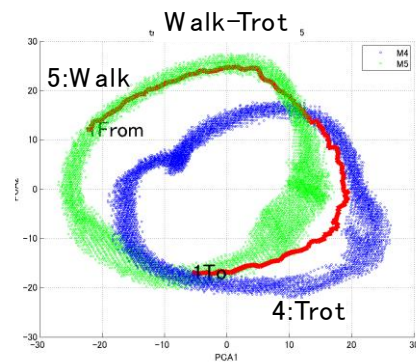
遷移軌道前後なし

遷移軌道前後500frames



[40, 40, 40, 40]分割の遷移軌道

 1回目の遷移軌道をPCA空間で表示



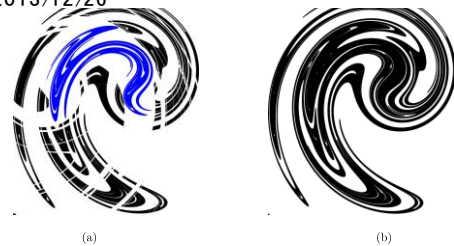
(b) ヒトや4足動物の歩行・走歩上の位相計算的計測データのモーソ成分と遷移軌道。具体的には、歩行・走歩のデータ(研究項目)のウエーブレット変換的時系列データのモーソ分解による歩容の遷移軌道の予備的な分析。歩行・走歩の歩容遷移軌道の予想を立て、2013/01/06

### 【課題 A5: 位相計算的分岐理論の基礎付け】

#### (a) サドルノード分岐の位相計算的解析

CM グラフの方法のような位相計算的観点から力学系に、最も簡単なサドルノード分岐について位相計算的性質が位相計算的観点からどのように捉えられるかを明確にした。

2013/12/26



#### (b) クライシス現象の位相計算的分岐理論

クライシス現象と呼ばれるダイナミクスの不連続な大域的变化を位相計算論的「分岐」と捉えて、それを数学的に扱う枠組みを定式化し、Leslie モデル、Henon 写像、池田写像などのクライシス現象を示す具体的な数理モデルを CM グラフの方法を用いて解析して、それを検証した。この結果は学術誌 NOLTA に発表した。(研究業績 81 の文献)

また、新たな大域的分岐として、Morse 分解における余次元2のモドロミー現象を位相計算的に取り扱う研究も行った。

#### (c) switching network の特異摂動

課題 A2 の switching network は、本来、なめらかな非線型関数によって記述される結合関係を持つネットワークに対し、それを区分的に定数のステップ関数に置き換えることで問題を単純化

している. 課題 A2 では, そのような **switching network** の特徴的性質を利用して, その **CM** グラフを求めることができるというアイデアに基づき, 特に2要素の **switching network** の **CM** グラフの分類を行ったものであるが, モース分解の頑強性 (**robustness**) を考えると, その **CM** グラフで与えられるモース分解は, ステップ関数に十分近いなめらかな非線型結合関数を持つ元のネットワーク結合力学系にそのまま受け継がれると期待される. ただし, **switching system** はなめらかなネットワーク結合力学系の特異極限であるため, そのようなモース分解の頑強性は直ちに明らかではない. そこで本研究では, これを **CM** グラフの特異摂動問題として捉え, 上記の頑健性が成り立つことを数学的に証明した. これにより, 生命科学などに現れるネットワーク力学系のダイナミクスを, その特異極限系のモース分解の情報を利用して調べるという新しい解析方法を発展させる可能性が見出せたと考えられる.

## 4.2 ネットワーク結合力学系のモデル化と解析に基づく機能発現メカニズムの解明 (京都大学 青柳富誌雄「ネットワーク結合力学系」グループ)

### (1)研究実施内容及び成果

本研究の目的は、神経系や歩行力学系などのリズムを内在する各種実験データから、位相振動子のネットワーク力学系としてその力学的特性や結合強度を推定し、結果として得られた結合力学系の相空間構造を解析することである。具体的には、実験データから統計的方法を用いて位相応答関数を推定する手法や、背後にある位相振動子のネットワーク結合力学系を推定する手法を開発する必要がある。また、その結果として得られた結合力学系や関連する種々の力学系モデルの相空間構造の解析により、脳神経系や歩行運動等のダイナミクスの特性等を調べ、それらに見られる様々な機能の解明に貢献する事も目的である。その目的のため、リズムに関する数理モデルの解析やデータ解析の理論構築に関して、ネットワーク結合力学系グループが中心となり研究を推進した。

研究実施方法は大きく2つの方針で行った。第1は、結合力学系の数理モデルを解析する方法、第2は、実データを力学系的視点から解析することである。

数理モデルの観点から、ネットワーク結合力学系には2つの重要なポイントがある。第1は、力学系としてどのようなものを採用するかである。この点に関しては、リズム現象全般を記述可能なリミットサイクル振動子を第1候補(位相縮約理論)として、それ以外の挙動を示す力学系も状況に応じて用いることとした。第2は、結合を規定するネットワークとしてどのようなものを採用するかである。これに関しては、ネットワーク自体は時間的に変化しない場合とネットワーク自体が力学系の状態変数に依存して変化する場合が考えられる。本研究では、必要に応じて両者のケースを考察した。例えば、歩行運動に関しては、CPG間の結合は短い時間スケールでは固定していると考え解析を行った。一方、神経系の長時間スケールの変化を扱うような場合は、力学系の状態変数と共に結合も自己組織的に変化して最終状態に至る過程を解析した。ただし、学習した結果の状況等に注目する場合は、結合は上記学習過程で獲得されたものを用い、結合の時間変化は考慮しないものとした。

実データの力学系的視点からの解析では、リズム現象がリミットサイクル振動として記述できる場合には、系の詳細にかかわらず縮約した力学系(位相振動子ネットワーク)で捉えられる点に着目し、その縮約した力学系モデル自体を実データから求める戦略をとった。具体的には、リズムを示す系の応答特性である位相応答曲線を実データから直接推定することや、位相振動子ネットワークの結合係数等を推定する手法を開発した。その際、力学系理論と共にベイズ推定や拡張モンテカルロ法など現代統計科学の手法も用いた。

ネットワーク結合力学系グループは、数理モデルの解析を主として担当すると共に、データ解析手法の開発を相空間構造解析グループ、身体力学グループとの共同研究として行った。具体的課題としては以下の4つのテーマを考え研究を進めた。

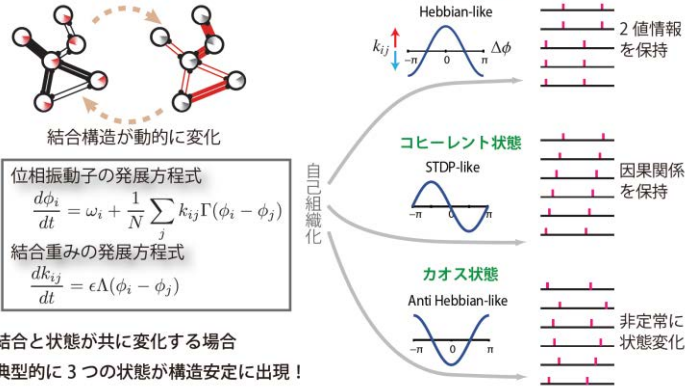
- ・課題 B1: 身体および神経リズム現象等を記述する結合力学系モデルの構築と解析
- ・課題 B2: 相空間構造から見たアトラクタ間遷移と時空間パターンの関係性
- ・課題 B3: 実験データから推定した結合系の相空間構造の解析
- ・課題 B4: 結合力学系のミクロな構造とマクロな挙動の関連づけ

以上のテーマは相互に関わり合っており、独立に述べるのは難しい部分もあるが、主要な関連性を軸として上記課題別に説明を行う。

#### 【課題 B1: 身体および神経リズム現象等を記述する結合力学系モデルの構築と解析】

本研究で具体的に考える構造安定なダイナミクスとして、リミットサイクル振動のネットワークの解析を行った。また、ネットワークの結合変化のダイナミクスは、素子の力学系のタイプを考慮し、神経系の知見や情報論的観点から基本的なダイナミクスを系統的に調べる方針の下、図に示すような結合が変化する位相振動子ネットワークの解析を行った。

リミットサイクル振動子ネットワーク



具体的には、各リンクに相互作用の大きさとしてウェイトを割り振ったリミットサイクル振動子のネットワークを解析した。このモデルの構造安定性は縮約理論(中心多様体)から理論的に保証されており、複雑な神経ネットワークのリズムダイナミクスの本質の一端を捉えていることが期待できる。結合のウェイトのダイナミクスは、系の周期性に着目すれば少数のパラメータで様々なルールをカバーでき、系統的にその効果を調べることができる。結果として、①同(反)位相だと結合が強く(弱く)なる Hebb 的学习ルールに近い場合は、最終状態は初期条件に依存して 2 値情報を保持する最終状態へ収束 ②相手より位相が進んで(遅れて)いれば結合を強め(弱め)るルールに近い場合は、位相の順序情報を保持する最終状態へ収束 ③反 Hebb 的学习ルールに近い場合は最終的にカオス状態になる、の3タイプのみを構造安定に示すことが理論・数値計算より示された。事実、系の詳細に依らず、神経ネットワークでは Hebb 則により発火・非発火状態の2状態で符号化される連想記憶モデルが実現できることが知られており、一方、最近発見された②に相当するシナプス学習ルール Spike-Timing Dependent Plasticity では、発火の順序(因果)関係が学習可能である。(③のカオス状態は今のところ現実世界で対応するものは不明である)上記結果は、抽象的な振動子モデルの結果が、周期的に発火している神経系の具体的な性質と関連づけられることから、得られた結果は広く一般に適用可能であることの傍証と言え、興味深い結果である(研究業績 30 の文献)。

また、位相縮約の理論を生物学的にも重要と思われる時間遅れの系や強結合系にまで拡張することを行った。また、生体内振動の数理モデルにおいて時間遅れに起因する複雑な振動の外力への特徴的な同期特性を数値シミュレーションにより示した(研究業績 33 の文献)。強い摂動を受けるリミットサイクル振動子に対する一般化した位相縮約理論を発展させた研究では、リミットサイクルのパラメータに対する族を考え、その各々に位相を定義し、各パラメータ値における外力に対する通常の位相応答関数に加えて、微小にパラメータが変化した場合の位相の変化を特徴づける位相応答関数を導入した。強い外力を、遅く変動する滑らかな大振幅成分と、それに重畳する速い小振幅成分に分離し、軌道が大振幅成分の値によって決まるリミットサイクル間を移動すると考えて、一般化した位相方程式を導出した。この位相方程式は、強い周期外力に駆動され、リミットサイクルの形状が大きく変化するような状況において、その位相ダイナミクスや同期特性を近似できることを数値シミュレーションにより示した(研究業績 88 の文献)。

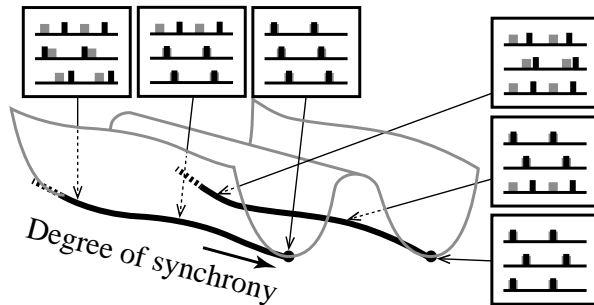
それ以外にも下記の幾つかのテーマについても研究を行った。複雑ネットワーク上の結合力学系のシンプルな例として、スケールフリーネットワークを介して結合する多数のノイズを受けた双安定系の相分離過程を解析した。双安定系の状態の次数毎の確率密度関数を導入し、ネットワークを平均場近似することにより、連結した非線形 Fokker-Planck 方程式によって系のダイナミクスを近似的に記述し、最終的な定常状態への緩和過程を解析した。直接数値シミュレーションとの比較により、近似的な解析が妥当な結果を与える事を示した(研究業績 89 の文献)。ネットワーク結合力学系の研究の一環として、スケールフリーネットワークを介して相互作用する 3 変数の生態系モデルの振動的不安定性に関する議論を行った。あるクラスの被食者・中間捕食者・捕食者からなる 3 変数の力学系における振動的 Turing 不安定性に関する十分条件を導出し、ネットワーク上に生じる振動的 Turing パターンを解析した。その結果、超臨界 Hopf 分岐によって振動が生じ、分岐点近傍ではある特定の次数のノードに局在した振動パターンが生じる事を数値計算により示し、平均場近似によって説明した(研究業績 85, 86 の文献)。ネットワーク結合力学系の典型例として、ネットワーク結合した自励振動子の超臨界 Hopf 分岐点近傍で導出される複素

Ginzburg-Landau 方程式, 特にその一様解の Benjamin-Feir 不安定性と, その後に生じるパターンに関して短いレビュー論文を European Physical journal Special Topics に掲載した.

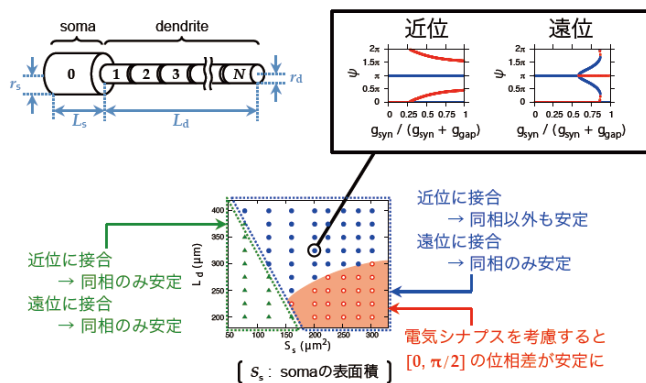
【課題 B2: 相空間構造から見たアトラクタ間遷移と時空間パターンの関係性】

比較的シンプルなダイナミクスや, 振動子的な特徴を持つ写像系などを対象に試験的にプロジェクト遂行に有効な力学系の候補を検証した. まず手始めとして, 小規模なホップフィールドタイプの連想記憶モデルを対象に相空間解析を行った. また, 振動子ニューラルネットワークに対しても同様の解析を行い, 計算時間や素子数に対する結果の有用性について検討を行った. その他, 複雑ネットワーク上の結合力学系の示す集団ダイナミクスの解析や, 集団ダイナミクスの外力に対する位相応答, 複数の相互作用する集団ダイナミクス間の同期現象, ノイズを受けた非線形振動子の位相を記述する基礎方程式の導出等も行った. 特に, ネットワーク結合振動子系の集団リズムの位相応答関数を個々のマイクロ振動子の性質から導出する理論的枠組みを提案し, これを用いて相互作用する複数の集団リズム間のマクロな同期現象等を解析した. その結果, 個々の振動子が引力的相互作用していても, 集団リズム間には実効的に斥力的な相互作用が生じ得る事などを明らかにした(研究業績 5, 6 の文献).

リズムのある神経活動は, 大脳新皮質から昆虫や軟体動物などの脳・神経システムにはしばしば見られる. しかし, 単一のリズムですら, その機能的役割や発生メカニズムは十分に解明されているとは言えない. 本研究では, その予備的な研究としてリズムは単一であるが, 様々な同期状態を利用しスカラー量を保持(記憶)可能な **graded persistent activity** を実現する新たなメカニズムを提案した. リズムと機能の関係性を明らかにする際, 機能として何を想定するかも重要なポイントである. 機能として重要な力学的特性の一つにアトラクターという概念がある. リズムを持った神経ネットワークは, 位相振動子ネットワークの力学系として記述できることが知られている. 例えば, 様々な発火タイミングを持った複数のパターンをアトラクターとしてもつ連想記憶モデルの解析も行われ, 様々な理論的結果が知られている. しかし, そこで用いられるシナプス結合は本質的に2体相互作用であった. しかし, 神経伝達(修飾)物質や樹状突起の複雑な結合の影響などを考慮すると, 3体相互作用で記述すべき場合もあることに気づく. そこで, 3体相互作用をもつ位相振動子ネットワークに関して, 理論と数値計算により解析を進めた結果, スパイクの同期度にスカラー量を連続的にコードできることが判明した. 特に, 複数の連続的なスカラー量を同時にコード可能である点が興味深い(右図).



興味深い(右図). スカラー量の区別は, 同期度を見る際の発火タイミングの違いに対応しており, あるスカラー量を想起中の場合には他のスカラー量に関する同期度はほとんど0であると見なせる(右下図). また, このように生成された発火パターンは他のニューロンへ入力すると考えられるが, シナプス結合の差や同期の違いに応じて **graded persistent activity** が実現される可能性がある. 更に, 位相モデルではなくコンダクタンスベースモデルに

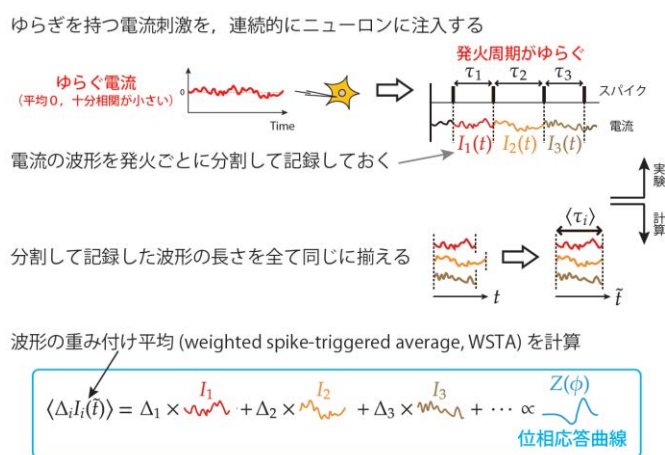


に対して多体相互作用を考慮したシナプス結合を仮定することにより, 実際に同期度を連続的に変化させて複数のアナログ情報を保持できることも確認した(研究業績 31 の文献).

リズム的な神経活動から見た空間的なシナプス結合様式の機能的意味に関しても研究を進めた. 最近の実験技術の進歩により, 各ニューロンがどのニューロンのどの部位に投射しているか,

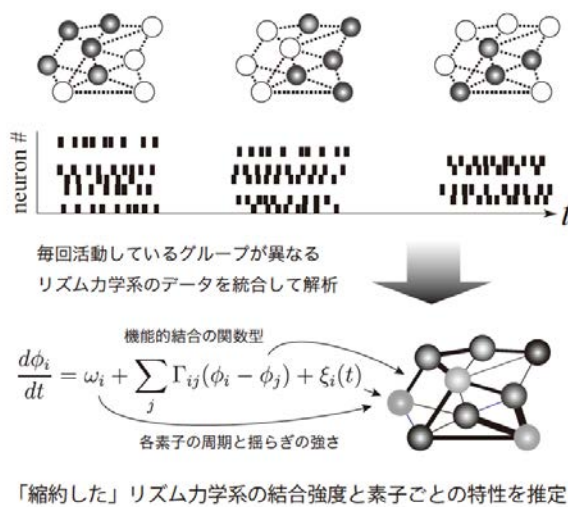
統計的データも蓄積されつつある。一方で、その電気生理学的な役割や意義が必ずしも明らかでない例も報告されている。例えば、細胞体から見て樹状突起の遠位に抑制性、それより近位に興奮性シナプス結合が存在する場合である(右図:手法の意義を説明する為、実例から極端に単純化している)。一見すると抑制性シナプス結合は何の役割も果たしていないように思える。しかし、仮に興奮性入力にリズム的な持続的入力があれば、たとえ遠位の微小な抑制結合の効果であっても、スパイクのタイミングを調整する可能性がある。ホイヘンスは壁に掛けた振り子時計が同期するのを発見したが、これは頑丈な壁で機械的に伝わる振動は微少でも、リズムに影響を及ぼす典型的な例である。単発の発火には殆ど影響を与えないが、リズム活動の枠組みで始めて制御機構として意義を持つ回路構造と言える。具体的には、抑制性ニューロンのサイズが大きい(樹状突起が長い)細胞に関しては、ギャップ結合が存在する場合に、細胞体より中程度の距離の樹状突起上にシナプス結合を有すると、同期が促進されることが判明した。この特性は細胞体のサイズや樹状突起の長さにも依存し、領野間の差異との関連で興味深い。この結果はごく最近得られたもので、現在論文にまとめている。

それ以外にも下記の幾つかのテーマについても研究を行った。時間遅れ系のリミットサイクル解に対応する位相縮約法を発展させ、Hale の理論に基づいて、時間遅れ系の位相応答関数の従う随伴方程式を導いた(研究業績 56 の文献)。また、時間遅れフィードバックにより安定化された2リンクのマニピュレータの数理モデルにおけるリミットサイクル振動状態を位相縮約法により解析した。そのほかに、神経ネットワークにおいて、疎表現(sparse coding)仮説を用いて一次視覚野における複雑型細胞の形成についての理論的研究も行った(研究業績 63 の文献)。

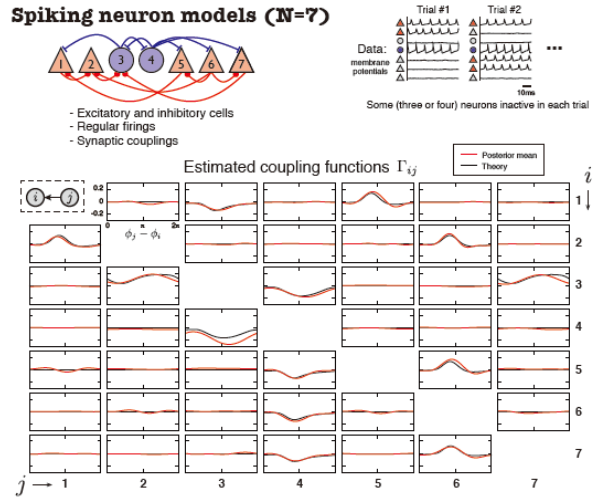


【課題 B3: 実験データから推定した結合系の相空間構造の解析】

本研究の目的は、リズム的に活動している生命系の計測データから、その系の振動に対する応答特性やリズム間の機能的結合を推定することである。最初に、位相振動子ネットワークの推定に関連して、効率的な位相応答の計測方法等の開発と、マクロな位相とマイクロな位相の理論的関係の考察を進めた。右図に示すように、外部から揺らぐ刺激を与え、その応答から位相応答曲線を計測する手法を、理論的結果に基づき開発した(研究業績 97 の文献)。その他、周期性の強いカオス系や、振動的な集団ダイナミクスを示す結合力学系の位相応答に関する研究なども発展させた。これらの結果は、歩行力学系の解析に関して適用することも可能であると思われる、身体力学系グループとモデルに対する検討の会合を定期的開催し、歩行運動における位相応答関数を求めた(詳細は身体力学G参照)。

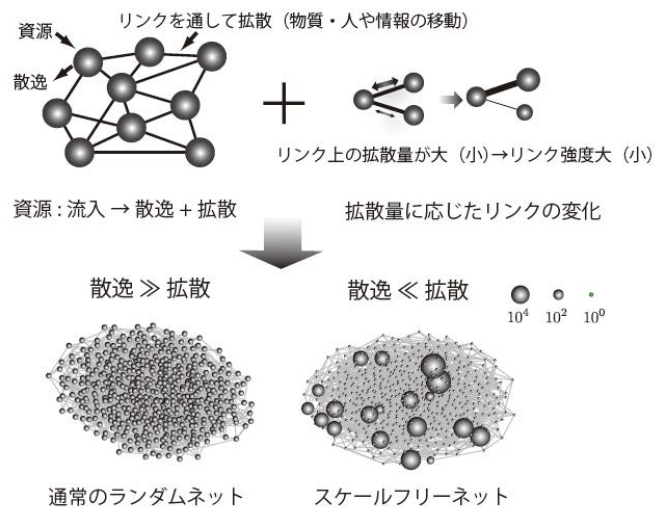


等の局所的な計測などでもよい。この時、計測データから背後にある機能的結合と個別の系の周波数や揺らぎの大きさを推定するのが目的である。肝要な点は、推定する方程式(力学系)は、単なるリズムという見かけのアナロジーに基づいた定式化ではなく、数学的に盤石の基盤(力学系の構造安定性)の上に構築されている点である。換言すれば、仮に詳細な生理学的メカニズムが未知(イオンチャンネルや結合様式)であっても、微分方程式系として背後の現象が記述出来るのであれば、リズム間に関する相互作用の形は計測データから数学的な正当性をもって記述できる事を意味している。右図は、抑制性・興奮性ニューロンの神経ネットワークから作った模擬データに関して、結合の有無や、興奮・抑制の判別など成功している例を示している。なお、100程度の素子のサイズに対しては、ベイズ統計等の手法により位相振動子の形で推定が成功している。特に強調したい点は、結合関数の形もある程度正確に求まっている点である。更に実データとして歩行データやカエルの鳴き声に関するデータを用いて研究を進めた。結果として、歩行運動では制御機構に新たな特徴を見出すに至り、動物の行動データ解析に新たな視点を提供することに成功している。



【課題 B4: 結合力学系のマイクロな構造とマクロな挙動の関連づけ】

一般に、神経系や社会ネットワークなどを考えても、各素子の状態に応じてネットワークのリンク構造が変化することは自然であるが、この事実を考慮した一般的な理論研究は殆どない。そこで、新たな研究テーマとして、結合構造も動的に変化するネットワーク上の力学系の解析を行った。その第一歩として、ノード上に資源がありリンクの重みに応じて拡散する場合、リンクの重みはその拡散量に応じて成長するモデルを考える。これは、例えば飛行機やインターネットの行き交う情報量や交通量に応じて、通信容量や輸送量を整備する社会ネットワークとも関係の深いモデルである。これらのネットワークでは、一見異なる対象であるにもかかわらずスケールフリー性などの共通する普遍的特徴がある点が指摘されている。この事実は、系の詳細に依らない数理構造の存在(ある側面は統一的な数理モデルで説明可能)が強く示唆される。我々は、その普遍的側面の中で、最も基本的なネットワーク上の拡散過程に着目し、ノード上の資源(都市の人口、物資の量を想定)がリンクを通じて拡散(都市間の人の交流、物資の輸送)し、リンクの重み(拡散係数に対応)が同時に変化するモデルを解析した(右図)。都市間の輸送網などでは、行き交う輸送量や情報量に応じてリンクの性質(道路の太さ等)が変化することは、その原因が何であれ自然である。解析の結果、ノードの重みが両端の資源の量の積に比例する場合(質量作用の法則:例えば2都市間の人口に応じて道路網を整備すると考えるとわかり易い)に次の事が判明した(Aoki & Aoyagi, Phy.Rev. Lett. 研究業績 62 の文献)。



① 資源の流入と散逸のバランスに応じて、スケールフリーネットワーク(リンクの重み・ノード上の資源が冪分布)か、ランダムネットワーク(ポアソン分布)が最終的に現れる。



② 散逸がある場合、マクロな分布は定常であるが、マイクロには非定常でカオス的変動(例えばノードの資源量のランキングが変動)が見られる。

この系は、拡散係数が対称であり、ノイズも無い。それにもかかわらず、リンクの重みのダイナミクスを導入しただけで、マイクロに非定常な状態が見られる点が興味深い。

またリミットサイクル振動子へのノイズの効果は、生命系においても考慮すべき重要なテーマである。その観点から、ノイズを受けるリミットサイクル振動子の位相縮約法に関する基礎的な理論解析を行った。通常の滑らかな弱い外力を受けるリミットサイクル振動子に関する位相縮約法は古くから確立されていたが、特に振動子が白色ノイズを受ける状況では、従来の滑らかな場合の位相方程式に付加的な項を追加する必要があることが我々の研究等により明らかとなっていた。この研究を進展させ、有色ノイズを受ける振動子の位相ダイナミクスを近似する白色ノイズ駆動の実効的な位相方程式を導出し、その正しさを数値シミュレーションにより確かめた(研究業績 9 の文献)。また、共通ノイズによる複数のリミットサイクル振動子の確率同期現象に関連して、ランダムなポアソンインパルスによって駆動される確率同期現象を最適化するような振動子の位相応答特性を導出した。弱い白色ガウスの場合には、最適な位相応答特性は三角関数型となることが先行研究によって知られていたが、インパルスに対してはノコギリ型の形状が最適となることを明らかにした。また、その生理学的な意義等について議論した(研究業績 35 の文献)。更に、リミットサイクル振動子の共通外力による確率同期現象に関連して、外力に適当なフィルタを掛けることにより、同期の度合いを向上させ、さらに同期パターン(位相差の定常確率密度関数)をある程度まで制御できることを示した。特に、望ましい同期パターンを実現するようなフィルタ関数を数値最適化により求め、各種のクラーター状態等を実現できることを示した(研究業績 105 の文献)。

それ以外にも、ネットワーク結合力学モデルの典型例として、スケールフリーネットワーク上の活性・抑制因子系の数理モデルにおける Turing パターン形成を解析した。その結果、通常の連続媒質の場合と同様に、ネットワーク上においても抑制性因子の拡散が大きくなると Turing 不安定性が生じ、ネットワーク上の非一様なパターン形成につながる事を示した。さらに、ネットワークの平均場近似を用いることにより、ネットワーク上に生じた最終的な定常 Turing パターンを、ネットワークノードの次数を分岐パラメータとする不完全ピッチフォーク分岐として近似的に理解できることを示した。得られた結果は複数の国内・国際研究会等で発表するとともに Nature Physics 誌に論文として掲載した(研究業績 16 の文献)。以上の研究をベースとして、系に大域的なフィードバック項を導入することによって Turing 不安定性を制御する問題について考察した。その結果、十分に強いフィードバック制御を導入する事により、元々は亜臨界分岐でヒステリシスを生じていた Turing 不安定性が、超臨界分岐でヒステリシスを生じないものになることを示した(研究業績 57 の文献)。

#### 4.3 身体リズム運動の数理モデルの構築とその制御機構の解明 (京都大学 青井伸也「身体力学」グループ)

##### (1)研究実施内容及び成果

ヒトや動物は、多数の筋骨格系からなる身体を協調的に動かし、動的で不安定な力学環境の中、安定で適応的な運動を実時間で形成している。これは、脳神経系で獲得した運動プログラムと各種感覚器からの情報を統合し、環境に適した運動指令を生成することで、安定な全身リズム運動が自発的に形成されているためである。本研究項目は、この支配法則の解明に向けて身体力学グループが中心となり、歩行を中心とした身体リズム運動の自発的形成機構とその制御則、および環境変化に伴う自発的な運動パターンの変移現象の解明を目的とした研究を実施した。

基本的な研究方針としては、まず歩行を中心とした身体運動の運動生理学実験を行い、その計測データの解析により運動学的な法則性を抽出した(データ解析)。次に、これらの結果をもとに、筋骨格系の数理モデルと神経制御系の数理モデルとしての神経ネットワークモデルを結合した神経筋骨格モデルを構築し、その数値実験により身体リズム運動のリズム形成機構とその制御機構の力学的な解明を行った(動力学解析)。そして、これらの知見を統合してシンプルな数理モデルを構築し、その数理解析から身体リズム運動の支配法則を数理的に明らかにした(数理解析)。更に、得られた数理解析結果を具体化した運動制御則を実装した歩行ロボットを開発し、その有効性を確認すると共に、その結果を理論的研究にフィードバックすることで(ロボティクス)、それぞれの研究を相補的に進めた。身体力学グループは、モデル化とロボティクスを主として担当すると共に、データ解析、数理解析を相空間構造解析グループ、ネットワーク結合力学系グループとの共同研究として行った。具体的課題としては、以下の4つの研究テーマを設定して研究を進めた。

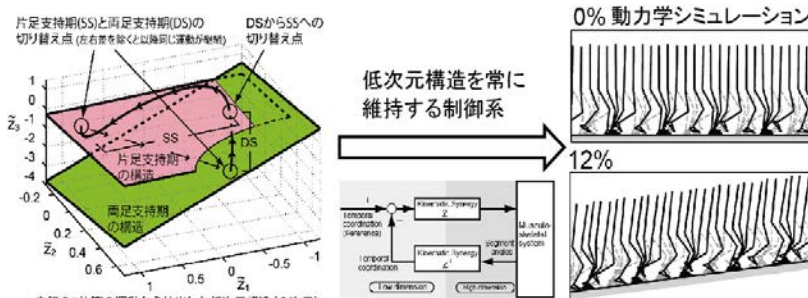
- ・課題 C1: 歩行における位相反応曲線の同定とシステムモデルの構築
- ・課題 C2: 全身リズム運動の運動生成・調整機構の解明
- ・課題 C3: 脚歩行における歩容遷移・歩容の切り替え機構の解明
- ・課題 C4: リズム調整機構を持つ歩行ロボットの開発

以下、課題別に説明する。

##### 【課題 C1: 歩行における位相反応曲線の同定とシステムモデルの構築】

・ヒトの歩行における関節運動の低次元構造を明らかにし(データ解析)、システムモデルを用いて機能検証を行った(動力学解析)

ヒトのトレッドミル上の歩行において、様々な傾斜角度および歩行速度を用いて歩行中の関節運動を計測し、計測データに特異値分解を施すことで低次元構造を抽出した。傾斜角度および歩行速度の変化に対して、抽出した低次元構造の空間

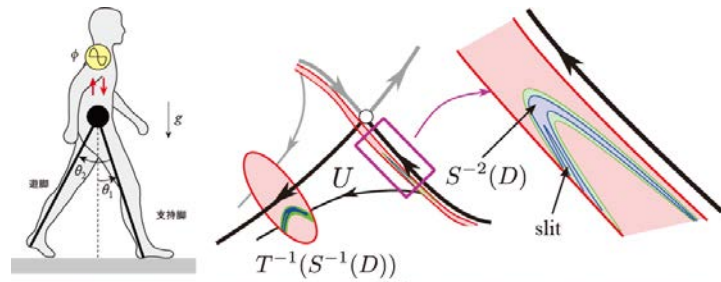


ヒト歩行の関節運動に内在する低次元構造とシステムモデルを用いた動力学シミュレーション

的特徴は適応的な変化をするが、時間的特徴は変化しないことを明らかにした。また、実際の運動と比較することで、抽出された低次元構造は、脚の伸縮と回転の動きに対応していることを示した。更に、低次元構造の歩行周期ごとのばらつきが小さいことを示し、神経制御系はこの低次元構造を維持するように運動指令を生成している可能性が高いことを示した。この解析結果を基に、低次元構造を維持するような神経制御系の数理モデルを構築し、ヒト歩行の動力学シミュレーションを行った。その結果、低次元構造の時間的特徴を変化させることなく、空間的特徴のみを変化させることで、様々な傾斜面上で安定した歩行が実現できることを確認した。

- ・ シンプルな数理モデルを用い 2 脚歩行の大域的な位相構造を明らかにした (数理解析)

ヒトの頑健な歩行機序の解明を目指して、コンパス型のシンプルなモデルを用いて相空間全構造解析グループと共同で力学系理論に基づく解析を行った。安定な歩行は力学系におけるリミットサイクルとして実現されるため、その吸引領域が重要な役割を持つ。従来から、この吸引領域は状態空間

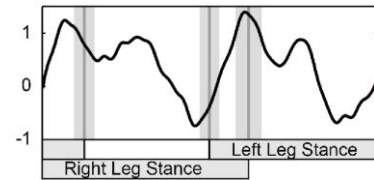


位相振動子とコンパスモデルからなるシンプルな歩行モデルと吸引領域の形成

上で細長く、フラクタル様の複雑な形状を持つことが知られていたが、その形成メカニズムは不明であった。本解析の結果、吸引領域の幾何学的特性は、サドルに起因する安定・不安定多様体の構造や接地・離地によるハイブリッドな力学系の変化による状態遷移に大きく依存することを明らかにした。また、生理学的知見に基づく位相振動子を用いた神経制御系のモデルも加えることで、不安定多様体と接地・離地状態との位置関係を調整して吸引領域の構造を質的に変化させ、その結果、領域を拡大してより安定な歩行が実現できることを示した。更にヒトの歩行計測において、トレッドミル上で外乱を付加して状態空間上での広がり調べた結果、安定多様体に沿った細長い形状を示すなど解析と同様の幾何学的特徴も確認でき、解析結果を支持するデータも得られている。

- ・ ヒト歩行における外乱応答特性を明らかにした (データ解析)

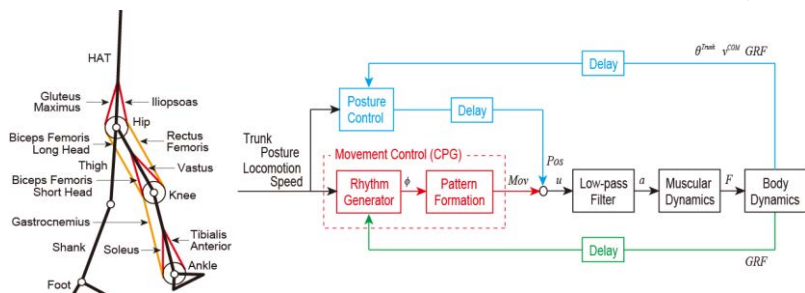
ヒトの歩行におけるリズム制御則を定量的に評価するために、ネットワーク結合力学系グループが開発した WSTA 法を用いて、ヒトの歩行の外乱適応を共同で解析した。具体的には、トレッドミルのベルト速度を急激に変化させることで並進外乱を与え、外乱と歩行リズムの相関を計算することで外乱応答特性 (位相応答曲線) を明らかにした。得られた応答特性は、接地・離地時に歩行リズムが大きく変化する特徴を示し、接地・離地イベントに基づいてリズムを調整する位相リセットが用いられている可能性を示す結果となった。また、左右2つに分かれたベルトを有する左右分離型トレッドミル上の歩行において、片側の速度を遅くすることで、環境変化に対する歩行の適応的な変化を調べた。計測データの特異値分解から、各脚における関節間の協調と両脚間の協調が異なる時定数で調整されていることを明らかにすると共に、歩行の安定性が左右のデューティー比 (歩行周期に対する支持脚時間の比率) や左右脚の位相関係を自律的に調整することで実現されていることを明らかにした。



ヒト歩行の外乱応答 (位相応答曲線)

- ・ ヒトの神経筋骨格モデルに基づく適応的歩行の動力学シミュレーションを行った (動力学解析)

ヒトの解剖学的に詳細な筋骨格系の数理モデルと、脊髄におけるリズム運動指令を形成する歩行パターン生成機構 (CPG), 筋活動に内在する低次元構造を示す筋シナジー, 感覚情報に基づく運動指令の調整を行う

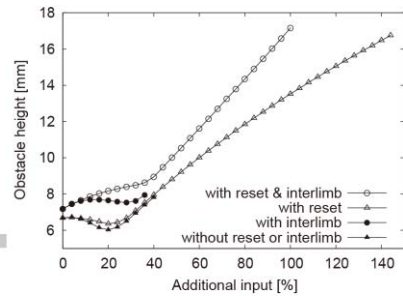
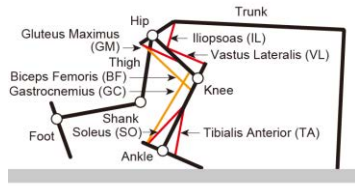


ヒト歩行の筋骨格モデルと神経制御モデル

位相リセットなど生理学的な知見に基づく神経制御系の数理モデルを統合して、ヒト 2 脚歩行のシステムモデルを構築し、動力学シミュレーションを行った。その結果、ヒトの歩行実験から得られた関節運動、筋電図、床反力などと比較して、力学的に妥当な歩行を生成することを確認し、更に、接地感覚情報に基づく位相リセットを介した運動指令の調整が、外乱や環境変化など様々な状況において適応的な歩行生成に大きく寄与することを明らかにした。この研究は、計測自動制御学会 SI 部門賞 研究奨励賞などを受賞している。

- ・ ラットの神経筋骨格モデルに基づく適応歩行の動力学シミュレーションを行った(動力学解析)

ラット後肢の解剖学的に詳細な筋骨格モデルと、脊髄におけるリズム運動指令を形成する CPG, 筋活動に内在する低次元構造を示す筋シナジー, 感覚情報に基づく運動指令の調整を行う位相リセット, そして肢間協調制御など



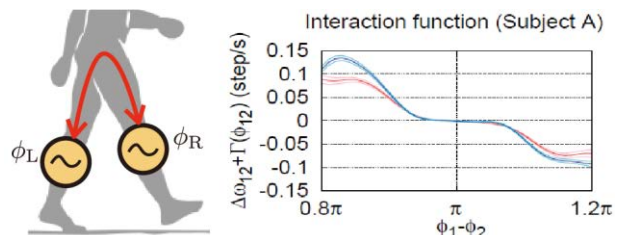
ラットの後肢筋骨格モデルと肢間協調や位相リセットの障害物回避歩行への寄与

制御モデルを統合して, ラットの後肢障害物回避歩行の動力学モデルを構築し, 動力学シミュレーションを行った. その結果, 適切な肢間協調の制御がより高い障害物の回避に寄与し, 位相リセットが障害物回避後の歩行の安定化に寄与するなど, 感覚情報に基づく運動指令の調整の機能的役割を明らかにした. この研究は, IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob2012)における Best Paper Award などを受賞している. 更に, この数理モデルを用いて左右分離型トレッドミル上での歩行シミュレーションを行った. その結果, 左右のベルトに速度差がある場合でも, 転倒することなく歩行を継続できることを確認し, ヒトと同様の適応も生じることを確認した. 更に現在, 本手法を運動障害にまで適用するために, 障害モデルラットを用いた計測を開始したところである.

#### 【課題 C2: 全身リズム運動の運動生成・調整機構の解明】

- ・ 位相縮約理論とベイズ推定によるヒトの歩行における肢間協調制御の同定を行った(データ解析・数理解析)

歩行とは左右の脚の交代性の運動から生成され, 頑健で適応的な歩行には, それぞれの運動が協調的に実現される必要がある. しかしながら, このような肢間協調がヒトの歩行中いかに実現され, またどのような制御方式をとっているのか, 従来から不明であった. 本課題では, ネットワーク結合力学系グループと共同で, 左右の脚の運動をそれぞれリミットサイクル振動子と見なし, 歩行力学系を結合リミットサイクル振動子系とみなして解析した. 具体的には, ヒトの歩行計測データに位相縮約理論とベイズ推定に基づいて新たに開発した数理的方法を用いた. その結果, 肢間協調制御の性質を表現する振動子間の相互作用関数が得られ, 左右の脚の運動の位相差は逆位相から大きく離れるとほぼ線形の復元力が働くが, 逆位相の近傍では全く相互作用の働かない領域を持つという非線形の制御構造が明らかとなった. すなわち, ヒトは少くも左右の脚の運動が逆位相からずれたとしても全く意に介さず, そのまま歩行を継続しており, 左右の脚の運動の位相差に故意に冗長性を持たせているものと考えられる. これは, ヒトが左右の脚の交代性の運動がきちりと逆位相で実現されるという意味での安定性を犠牲にして, むしろ次の行動に移るための機動性などを重視して位相関係に冗長性を持たせるという戦略をとっていることを示唆するものであり, 従来不明確であったヒト歩行の肢間協調制御に対して新たな知見を与えるものだと考えられる.

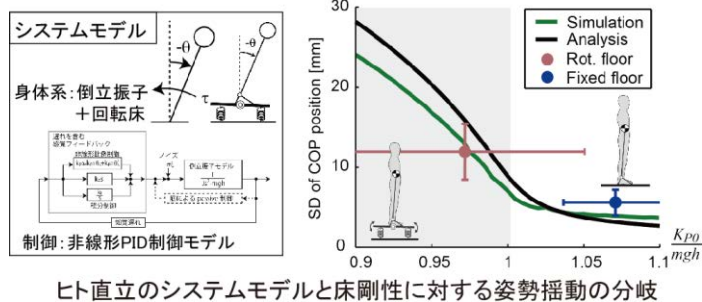


左右の結合リミットサイクル振動子系と同定された相互作用関数

- ・ ヒトの直立姿勢動揺を説明し, 制御系を定量的に評価できるモデルを提案した(動力学解析)

ヒトは直立中に大きく揺らぎながら姿勢を保っており, 神経疾患に応じてこの動揺が変化することが知られている. 直立の姿勢制御則は, PID 制御の制御ゲインを用いて定量的に議論されているが, 生体に存在するノイズ量とこの大きな動揺を両立する線形の制御則は存在しないと指摘されている. 本研究では, 通常の床や剛性が可変の回転床上でヒトの直立姿勢の計測を行い, その計測データの解析から, この姿勢動揺が安定周期解(リミットサイクル)によるものであると考え, 弱い非線形性を持つ制御モデルを提案した. そして, 身体力学系としての回転床上における倒立振子モ

デルと統合して、ヒト直立のシステムモデルを構築して動力学解析を行った。その結果、提案したモデルは回転床の安定性(剛性)に応じた分岐現象(ホップ分岐)を示し、ヒトの計測データで見られた重心動揺の大きさ、分布、周波数特性をよく説明した。また、モデル同定の手法により提案したモデルの制御パラメータを定量的に評価し、モデルから予測される分岐現象がヒトの直立でも生じることを計測データから示した。更に現在、神経疾患患者の重心動揺を計測し、この解析手法を適用した制御系の状態推定から診断および疾患メカニズムを明らかにする研究を開始したところである。

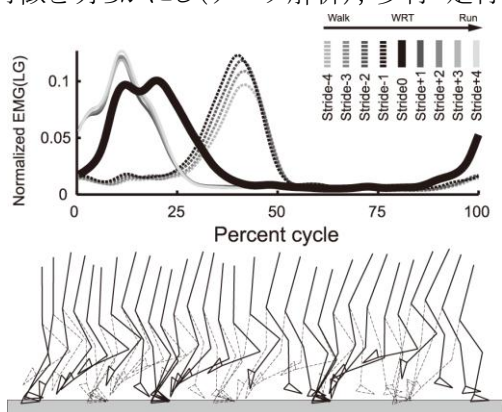


ヒト直立のシステムモデルと床剛性に対する姿勢揺動の分岐

【課題 C3: 脚歩行における歩容遷移・歩容の切り替え機構の解明】

・ ヒトの歩行・走行遷移における関節運動と筋活動の特徴を明らかにし(データ解析)、歩行・走行を説明するシステムモデルを構築した(動力学解析)

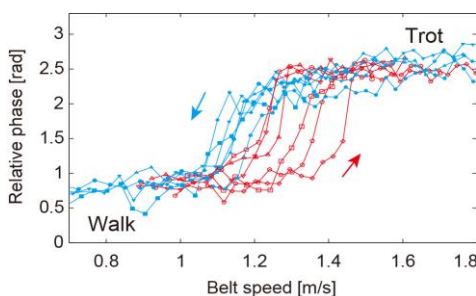
ヒトの歩行・走行の遷移機序の解明に向けて、トレッドミルの速度を歩容遷移速度近傍に設定し、歩行から走行、および走行から歩行への随意的な歩行遷移を計測した。計測した関節運動と筋電位データに対して、相空間構造解析グループと共同で、特異値分解、及び CM グラフを用いた解析を行い、その特徴を抽出した。その結果、遷移は脚の離地から着地までの短い期間に生じ、その前後での関節運動の大域的な変化は小さいことが明らかとなった。また、遷移瞬間のストライド周期においてのみ観察される筋電位の特徴的な双峰性の発火パターンを発見した。更に、課題 C1 で構築したヒトの神経筋骨格モデルを用いて、筋活動に内在する低次元構造を示す筋シナジーの歩行と走行における構造の違いをモデル化することで、ヒトの歩行・走行を統一的に説明できるシステムモデルを構築した。この研究は、計測自動制御学会 生体・生理工学部会 研究奨励賞などを受賞している。



ヒトの歩容遷移時に見られる双峰性の発火パターンと走行シミュレーション

・ イヌのウォーク・トロット遷移における運動学的特徴を明らかにした(データ解析)

4 脚動物に見られる歩容遷移機序を明らかにするために、イヌを対象にトレッドミルの速度を上昇・下降させ、ウォークからトロット、トロットからウォークへの遷移を計測した。計測データの解析の結果、歩容遷移(前後脚の位相差の変化で説明される)は緩やかに生じ、またその前後で、重心の上下振動の振幅が大きく変化することがわかった。また、ウォークからトロット、トロットからウォークへの遷移速度に統計的に有意な差が存在し、この歩容遷移にはヒステリシスが存在することが明らかとなった。また、歩容遷移前後の脚角度に基づく相対位相データからリターンマップを求め、リターンマップ上の固定点近傍のデータを用いて主成分分析による直交回帰を行い、歩容遷移における歩容の安定・不安定構造を明らかにした。

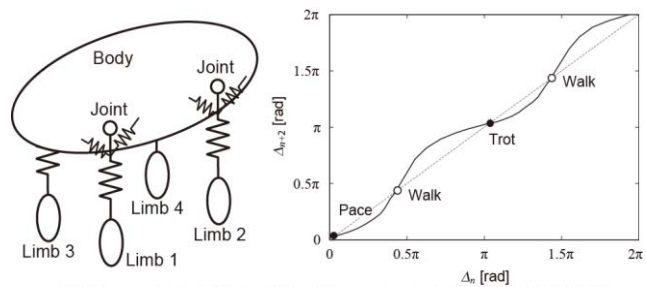


イヌのウォーク・トロット遷移におけるヒステリシス

・ シンプル数理モデルを用いて 4 脚動物の歩容遷移の安定解析を行った(数理解析)

4 つのバネつきの脚と1つの胴体から構成される骨格系の数理モデルと、振動子ネットワークから構成される神経制御系の数理モデルを組み合わせたシンプルな4脚歩行モデルを構築した。振

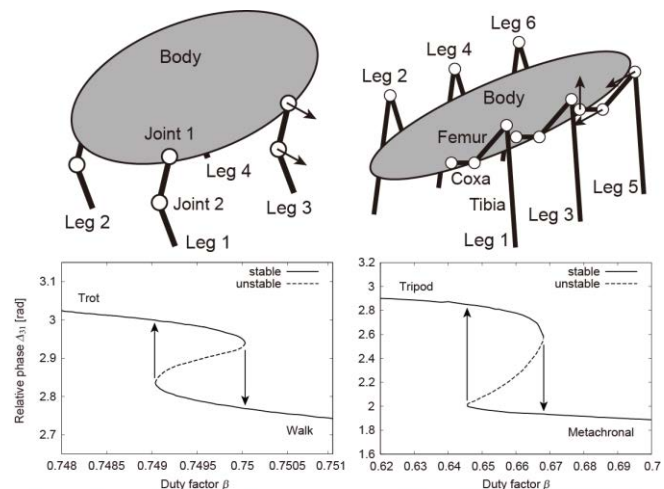
動子系は、内部モデルとしての位相モデルとその実現値の相関関数によって摂動を受ける。イヌのウォーク・トロット遷移の運動生理学実験から、振動子は胴体の上下振動と強く相互作用している可能性が示唆されているので、この実験結果をもとに、身体力学系と振動子系からなる結合力学系の縮約モデルを導出し、ネットワーク結合力学系グループと共同で歩容の安定構造を解析した。その結果、胴体の上下運動に関する固有振動数と歩行周波数の間の共振に基づいて歩容が遷移することが明らかになった。



4 脚歩行のシンプルモデルとリターンマップによる安定解析

・ 生物のシステムモデルを用いた動力学解析を行い、歩容遷移に見られるヒステリシスを生成する安定構造を調べた(動力学解析)

生物の歩容遷移に見られるヒステリシス現象の解明に向けて、多関節を有する脚と胴体を持つ骨格系の数理モデルと、振動子ネットワークから構成される神経制御系の数理モデルを統合した4脚動物のシステムモデルを構築した。振動子ネットワークは CPG に基づいて構成し、生理学的に示唆されている感覚情報に基づく運動指令の調整を行う位相リセットを導入した。シミュレーション結果から、歩行速度に応じてウォーク・トロット・ペースなど様々な歩容に対応した周期解が存在し、速度変化に対してウォーク・トロット間で遷移が起こることを明らかにした。



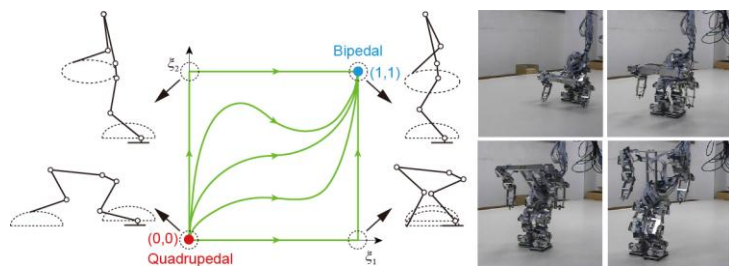
4 脚と 6 脚歩行のシステムモデルとヒステリシスを生成する歩容の安定構造

また、この歩容遷移において、イヌなど 4 脚動物で見られるようなヒステリシスが生じることを明らかにした。更に、リターンマップを用いた安定解析より、一定の速度領域に異なる安定解が共存することを示し、サドルノード分岐を介した安定構造の変化より、ヒステリシスが生じることを明らかにした。また、歩行速度だけでなく、荷重などを変えたシミュレーションを行った結果、この歩容遷移にはカスプカタストロフなどの余次元 2 の分岐構造が存在することを示した。更に、昆虫など 6 脚生物の歩容遷移機序の理解に向けて、4 脚動物のシステムモデルを改良して 6 脚昆虫のシステムモデルを構築し、シミュレーションを行った。その結果、歩行速度に応じてメタクロナル・トライポッド歩容の間でヒステリシスを有する遷移が起こり、リターンマップを用いた安定解析から、4 脚動物の場合と同様にサドルノード分岐を介して歩容の安定構造が変化することを明らかにした。

【課題 C4:リズム調整機構を持つ歩行ロボットの開発】

・ 2 脚ロボットを用いて 4 脚歩行から 2 脚歩行への歩容遷移実験を行った(ロボティクス)

4 脚歩行と 2 脚歩行を実現可能な機構を持つ 2 脚ロボットを開発し、生物の冗長性の問題を解決する一つの戦略として示唆されている関節運動に内在する低次元構造を表す運動学シナジーや、脊髄におけるリズム運動指令を形成する CPG、そして感覚情報に基づく運動指令の調

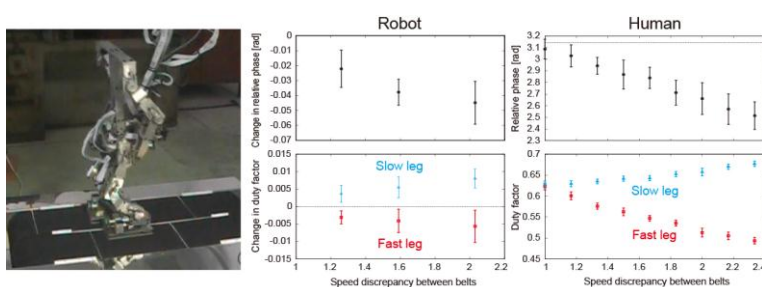


運動学シナジーに基づく歩容遷移の設計と 2 脚ロボットの歩容遷移実験

整として示唆されている位相リセットなど生理学的知見に基づいて振動子ネットワークからなる歩行制御系を構築し、4脚歩行から2脚歩行への遷移に関する実機実験を行った。実験結果から、運動学シナジーに基づく運動計画によって4脚歩行と2脚歩行という異なる歩容を連続的に遷移させることが可能になり、位相リセットに基づく運動調整によって、安定でロバストな歩容遷移が実現されることを確認した。

・ 2脚ロボットの左右分離型トレッドミル上での適応的歩行生成実験を行った(ロボティクス)

課題 C1 で実施したように、左右分離型トレッドミル上の歩行実験から、ヒトは左右脚の肢間協調を上手く制御して、適応的な歩行を生成することが明らかになっている。本課題では、2脚ロボットの歩行制御系を設計し、ロボットの左右分離型トレッドミル上での実験を通して、この適応的な歩行

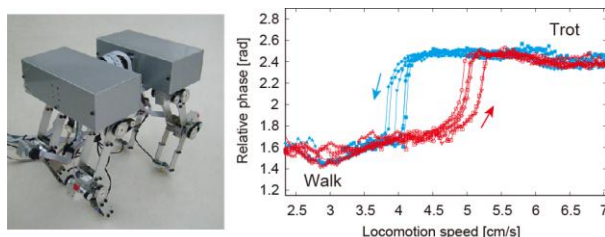


2脚ロボットの左右分離型トレッドミル歩行とロボットとヒトにおける左右のベルト速度差に対する左右の脚間位相差とデューティー比の変化

生成メカニズムの数理的な検証を行った。歩行制御系は、生理学的知見に基づくCPGと位相リセットに基づいて振動子ネットワークを用いて構築した。実験結果から、左右のベルトに大きな速度差がある場合でも歩行を継続できることを確認した。その際、ベルトの速度差に応じて、左右の脚運動の位相関係が逆位相からシフトし、歩行周期に対する支持脚時間(デューティー比)が左右で適応的に変化する様子が見受けられた。これらはあらかじめ設計したものではなく、振動子制御系・ロボット機構力学系・環境との力学的相互作用の結果として発現したものであり、このような適応は、ヒトの左右分離型トレッドミル歩行でも同様に起こることを運動計測からも確認した。

・ 4脚ロボットを用いてウォーク・トロット歩容遷移実験を行った(ロボティクス)

4脚動物に見られるヒステリシスを伴うウォーク・トロット遷移を説明する力学構造を調べるために4脚ロボットを開発し、課題 C3 におけるシステムモデルと同様に、CPG と生理学的に示唆されている感覚情報に基づく運動指令の調整を行う位相リセットを有する振動子ネットワークモデルを用いた歩行制御系を構築して、ロボット実験を行った。

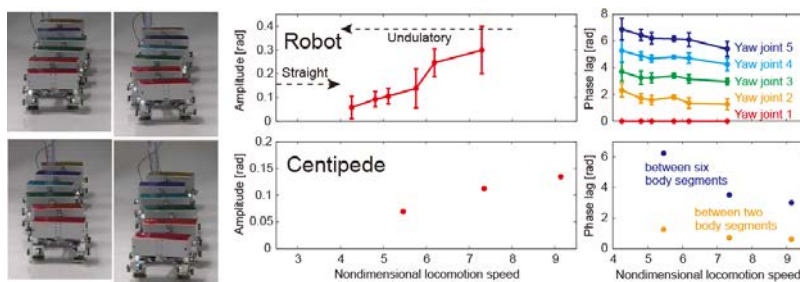


4脚ロボットとウォーク・トロット遷移におけるヒステリシス

その結果、ロボット機構系、振動子制御系、そして環境との相互作用から歩行速度に応じてウォーク・トロット間の遷移が起こり、課題 C3 におけるイヌの運動学実験の結果と同様に、ヒステリシスを生じることを確認した。更に、リターンマップを用いた安定解析から、課題 C3 のシステムモデルから明らかとされているヒステリシスを生成するサドルノード分岐を有する歩容の安定構造を実証した。

・ 多脚ロボットを用いて蛇行の形成メカニズムを明らかにした(数理解析・ロボティクス)

ムカデなど多脚歩行生物において、歩行速度が遅いと体節間の蛇行は生成されず、速くなると蛇行が出現し、歩行速度に応じてその波長や振幅が変化することが知られている。多脚歩行においてこのような蛇行を生成する力学構



多脚ロボットの蛇行生成とロボットとムカデの蛇行特性の比較

造を明らかにするために、1 対の脚を持つ体節が回転バネを介して直列に繋がられたムカデ型の多脚ロボットを開発し、歩行実験を行った。その結果、実際のムカデなどと同様、歩行速度が遅いと蛇行は生成されず、ある速度を超えると蛇行が出現することを確認した。更に、ロボットの動力学シミュレーションやシンプルな数理モデルを用いたフロケ解析より、超臨界ホップ分岐を介してそのような蛇行が生成されることを明らかにした。また、ロボットや数理モデルの結果を、ムカデにおける歩行速度に対する蛇行の波長や振幅などと比較すると、同様の傾向を有していることを確認した。この研究内容は、*Nature Physics* の *News & Views* において 1 ページにわたり大きく紹介された。



## § 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 10 件、国際(欧文)誌 113 件)

### 2009 年度:

1. S. Aoi, N. Ogihara, T. Funato, Y. Sugimoto, and K. Tsuchiya, "Evaluating functional roles of phase resetting in generation of adaptive human bipedal walking with a physiologically based model of the spinal pattern generator", *Biological Cybernetics*, 102(5):373-387, 2010 (DOI: 10.1007/s00422-010-0373-y)

### 2010 年度:

2. Ken Nakae, Yukito Iba, Yasuhiro Tsubo, Tomoki Fukai and Toshio Aoyagi, Bayesian estimation of phase response curves, *Neural Networks*, Vol. 23, Issue 6, pp. 752-763 (2010) (DOI: 10.1016/j.neunet.2010.04.002)
3. Takaaki Aoki and Toshio Aoyagi, Self-organized behaviors in an adaptive network of movable oscillators, 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2010), pp.410-413, 2010 (DOI:なし)
4. Masaki Nomura, Daisuke Ito, Kazutoshi Gohara, Toshio Aoyagi, Simple Model of a Neuronal Network Reproducing Synchronous Bursts, *Proceedings MEA 2010*, pp.199-200, 2010 (DOI:なし)
5. Yoji Kawamura, Hiroya Nakao, Kensuke Arai, Hiroshi Kori, and Yoshiki Kuramoto, Phase synchronization between collective rhythms of globally coupled oscillator groups: Noisy identical case, *Chaos*, Vol. 20, 043109 (10 pages) (2010) (DOI: 10.1063/1.3491344).
6. Yoji Kawamura, Hiroya Nakao, Kensuke Arai, Hiroshi Kori, and Yoshiki Kuramoto, Phase synchronization between collective rhythms of globally coupled oscillator groups: Noiseless non-identical case, *Chaos*, Vol.20, 043110 (8 pages) (2010) (DOI: 10.1063/1.3491346).
7. Hiroya Nakao, Jun-nosuke Teramae, Denis S. Goldobin, and Yoshiki Kuramoto, Effective long-time phase dynamics of limit-cycle oscillators driven by weak colored noise, *Chaos*, Vol.20, 033126 (10 pages) (2010) (DOI:10.1063/1.3488977).
8. Shigefumi Hata, Takeaki Shimokawa, Kensuke Arai, and Hiroya Nakao, Synchronization of uncoupled oscillators by common gamma impulses: from phase locking to noise-induced synchronization, *Physical Review E*, Vol. 82, 036206 (12 pages) (2010) (DOI:10.1103/PhysRevE.82.036206).
9. Denis S. Goldobin, Jun-nosuke Teramae, Hiroya Nakao, and G. Bard Ermentrout, Dynamics of limit cycle oscillators subject to general noise, *Physical Review Letters*, Vol. 105, 154101 (4 pages) (2010) (DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.154101).
10. Hiroya Nakao and Alexander S. Mikhailov, Turing patterns in network-organized activator-inhibitor systems, *Nature Physics*, Vol. 6, 544-550 (2010) (DOI: 10.1038/nphys1651).
11. Masaharu Nagayama, Kei-ichi Ueda and Masaaki Yadome, Numerical approach to transient dynamics of oscillatory pulses in a bistable reaction-diffusion system, *Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 27, 295-322 (2010).
12. 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, "ヒトの歩行における全身の関節協調動作の定量的評価", *日本ロボット学会誌*, 28(8):996-1003, 2010 (DOI: なし)
13. T. Funato, S. Aoi, H. Oshima, and K. Tsuchiya, "Variant and invariant patterns embedded in human locomotion through whole body kinematic coordination", *Experimental Brain Research*, 205(4): 497-511, 2010 (DOI: 10.1007/s00221-010-2385-1)
14. Yoshiyuki Kubota, Fuyuki Karube, Masaki Nomura, Allan T. Gullledge, Koh Hashimoto, Atsushi Mochizuki & Yasuo Kawaguchi, Dendritic dimensions and

- signal conduction properties of cortical nonpyramidal cells, Abstracts of Society for Neuroscience, Program No.450.8 (November 15, 2010)
15. S. Aoi and K. Tsuchiya, "Generation of bipedal walking through interactions among the robot dynamics, the oscillator dynamics, and the environment: Stability characteristics of a five-link planar biped robot", *Autonomous Robots*, 30(2):123-141, 2011 (DOI: 10.1007/s10514-010-9209-9) (ただし初期投稿時は CREST 開始前)
  16. K.Matsue, Rigorous verification of bifurcations of differential equations via the Conley index theory, *SIAM J. Appl. Dyn. Sys.* 10 (2011) 325-359. (DOI: 10.1137/080742944) (ただし初期投稿時は CREST 開始前)
  17. S. Aoi, T. Yamashita, A. Ichikawa, and K. Tsuchiya, "Hysteresis in gait transition induced by changing waist joint stiffness of a quadruped robot driven by nonlinear oscillators with phase resetting", *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2010)*, pp. 1915-1920, 2010 (DOI: 10.1109/IROS.2010.5650447)
  18. T. Yamashita, S. Aoi, A. Ichikawa, and K. Tsuchiya, "Emergence of hysteresis in gait transition by changing walking speed of an oscillator-driven quadruped robot", *Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010)*, pp. 1837-1839, 2010 (DOI:なし)
  19. T. Kondo, S. Aoi, D. Yanagihara, S. Aoki, H. Yamaura, N. Ogihara, A. Ichikawa, and K. Tsuchiya, "Development of a musculoskeletal model of the hind legs of the rat based on anatomical data and generation of locomotion based on kinematic data", *Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010)*, pp. 2308-2310, 2010 (DOI:なし)
  20. S. Aoi, N. Ogihara, T. Funato, Y. Sugimoto, and K. Tsuchiya, "Evaluation of functional roles of phase resetting in generation of adaptive human locomotion based on a neuromusculoskeletal model", *Proceedings of 4th International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions (ISHF2010)*, pp. 64-67, 2010 (DOI:なし)
  21. T. Funato, S. Aoi, and K. Tsuchiya, "Robust patterns embedded in the kinematics of human locomotion under various environments", *Proceedings of 4th International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions (ISHF2010)*, pp. 68-71, 2010 (DOI:なし)
  22. Takaaki Aoki, Yuri Kamitani and Toshio Aoyagi, Asymptotic states of a recurrent network under ongoing synaptic plasticity, *Neuroscience Research*, Vol. 68, Supplement 1, e436 (2010).
  23. Takuma Tanaka, Toshio Aoyagi and Takeshi Kaneko, Simple and complex cell-like selectivity is reproduced by sparse coding model, *Neuroscience Research*, Vol. 68, Supplement 1, e380 (2010).
  24. 青木高明, 青柳富誌生,位相振動子ネットワークの可塑性に基づいた自律的な「群れ」の形状形成, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム, 171-174 (2010).
  25. 青木高明, 青柳富誌生,結合強度が変化する位相振動子ネットワークの自己組織化,電子情報通信学会技術研究報告, vol. 109, no. 458, 103-108 (2010).

**2011 年度:**

26. Obayashi, Computer-assisted verification method for invariant densities and rates of decay of correlations, *SIAM J. Appl. Dyn. Sys.* 10 (2011), pp. 788-816 (DOI: 10.1137/09077864X)
27. Yoshiyuki Kubota, Fuyuki Karube, Masaki Nomura, Allan T. Gullledge, Atsushi Mochizuki, Andreas Schertel and Yasuo Kawaguchi, "Conserved properties of dendritic trees in four cortical interneuron subtypes", *Scientific Reports*, Vol.1, 89 (13 pages) (2011). (DOI:10.1038/srep00089)

28. Kei-Ichi Ueda, Yasumasa Nishiura, "A mathematical mechanism for instabilities in stripe formation on growing domains", *Physica D* 241 (2011), pp. 37–59. (DOI:10.1016/j.physd.2011.09.016)
29. Masaaki Yadome, Kei-Ichi Ueda, Masaharu Nagayama, "Chaotic motion of propagating pulses in the Gray-Scott model", *Physical Review E* 83 056207 (6 pages) 2011/5/9 (DOI: 10.1103/PhysRevE.83.056207)
30. Takaaki Aoki and Toshio Aoyagi, "Self-organized network of phase oscillators coupled by activity-dependent interactions", *Physical Review E*, vol.84, Issue 6, 066109 (14 pages) (2011). (DOI:10.1103/PhysRevE.84.066109)
31. Takuma Tanaka and Toshio Aoyagi, "Multi-stable attractors in a network of phase oscillators with three-body interactions", *Physical Review Letters*, vol.106, Issue 22, 224101(4 pages) (2011). (DOI:10.1103/PhysRevLett.106.224101)
32. Kaiichiro Ota, Takaaki Aoki, Koji Kurata and Toshio Aoyagi, "Asymmetric neighborhood functions accelerate ordering process of self-organizing maps", *Physical Review E*, vol.83, Issue 2, 021903(9 pages) (2011). (DOI:10.1103/PhysRevE.83.021903)
33. Ikuhiro Yamaguchi, Yutaro Ogawa, Yasuhiko Jimbo, Hiroya Nakao, and Kiyoshi Kotani, "Reduction Theories Elucidate the Origins of Complex Biological Rhythms Generated by Interacting Delay-Induced Oscillations", *PLoS ONE* 6, e26497 (1-10) (2011). (DOI:10.1371/journal.pone.0026497)
34. Yoji Kawamura, Hiroya Nakao, and Yoshiki Kuramoto, "Collective phase description of globally coupled excitable elements", *Physical Review E* 84, 046211 (1-12) (2011). (DOI:10.1103/PhysRevE.84.046211)
35. Shigefumi Hata, Kensuke Arai, Roberto F. Galán, and Hiroya Nakao, "Optimal phase response curves for stochastic synchronization of limit-cycle oscillators by common Poisson noise", *Physical Review E* 84, 016229 (1-10) (2011). (DOI:10.1103/PhysRevE.84.016229)
36. Takaaki Aoki, Yuri Kamitani and Toshio Aoyagi, "Self-organizing network of coupled neural oscillators with synaptic plasticity", *Proc. 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2011)*, pp.350-353 (2011). (DOI:なし)
37. N. Ogihara, S. Aoi, Y. Sugimoto, K. Tsuchiya, and M. Nakatsukasa, "Forward dynamic simulation of bipedal walking in the Japanese macaque: investigation of causal relationships among limb kinematics, speed, and energetics of bipedal locomotion in a non-human primate", *American Journal of Physical Anthropology*, 145(4): 568-580, 2011 (DOI: 10.1002/ajpa.21537).
38. S. Aoi, T. Yamashita, and K. Tsuchiya, "Hysteresis in the gait transition of a quadruped investigated using simple body mechanical and oscillator network models", *Physical Review E*, 83(6):061909, 2011 (DOI: 10.1103/PhysRevE.83.061909).
39. S. Aoi, N. Ogihara, T. Funato, and K. Tsuchiya, "Sensory regulation of stance-to-swing transition in generation of adaptive human walking: A simulation study", *Robotics and Autonomous Systems*, 60(5): 685-691, 2012 (DOI: 10.1016/j.robot.2011.12.005).
40. S. Aoi, S. Fujiki, T. Yamashita, T. Kohda, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Generation of adaptive splitbelt treadmill walking by a biped robot using nonlinear oscillators with phase resetting", *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2274-2279, 2011 (DOI: 10.1109/IROS.2011.6094583).
41. S. Aoi, S. Fujiki, D. Katayama, T. Yamashita, T. Kohda, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Experimental verification of hysteresis in gait transition of a quadruped robot driven by nonlinear oscillators with phase resetting", *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2280-2285, 2011

- (DOI: 10.1109/IROS.2011.6094480).
42. T. Funato, T. Hosokawa, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Isochron of human walking derived from the perturbation of floor", Proceedings of the 5th Internal Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines, pp. 35-36, 2011 (DOI:なし).
  43. T. Funato, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Human gait control suggested by the evaluation of the fluctuation of synergy", Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 267-272, 2011 (DOI: 10.1109/SII.2011.6147458).
  44. Sato, Y., Aoki, S., Yanagihara, D. "Gait modification during approach phase when stepping over an obstacle in rats", *Neurosci. Res.*, 72: 263-269, 2012 (DOI: 10.1016/j.neures.2011.11.008)
  45. Takashi Hayakawa, Takeshi Kaneko, Yukito Iba and Toshio Aoyagi, Exploration for cortical dynamics with Monte Carlo sampling of learning rules, The Proceedings of the 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society, 56-57(2011).
  46. Kaiichiro Ota, Takuma Tanaka, and Toshio Aoyagi, Emergence of multiple continuous attractors in coupled neuronal oscillators by inclusion of three-body interactions, The Proceedings of the 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society, 130-131(2011).
  47. Yuri Kamitani, Takaaki Aoki, Toshio Aoyagi, Asymptotic behavior in a co-evolving network of neurons with synaptic plasticity, The Proceedings of the 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society, 126-127(2011).
  48. 今井貴史, 末谷大道, 青柳富誌生,位相記述可能性の観点で見た周期性の強いカオスの特徴,第 72 回 形の科学シンポジウム, 形の科学会誌, vol. 26, no. 2, pp. 241-242 (2011).
  49. 茶碗谷毅, 伊賀志朗, 伊庭幸人, 青柳富誌生,振動子の最適同期をもたらすネットワークの形,第 72 回 形の科学シンポジウム, 形の科学会誌, vol. 26, no. 2, pp. 245-246 (2011).
  50. Shigefumi Hata and Hiroya Nakao, "Optimal phase response curves for stochastic synchronization and desynchronization of limit-cycle oscillators", Proceedings of 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Kobe, Japan, 100-103 (2011). (DOI:なし)

#### 2012 年度:

51. Hiroshi Kokubu and Konstantin Mischaikow, A combinatorial framework for analysis of global dynamics and bifurcations, IUTAM Symposium on 50 Years of Chaos: Applied and Theoretical, *Procedia IUTAM* 5 (2012), 195-198. (DOI: 10.1016/j.piutam.2012.06.26)
52. Zin Arai, Hiroshi Kokubu and Ippei Obayashi, "Capturing the global behavior of dynamical systems with Conley-Morse graphs", *Advances in Cognitive Neurodynamics (III)*, 2012, Springer. pp. 665-672.
53. Zin Arai, Marcio Gameiro, Tomas Gedeon, Hiroshi Kokubu, Konstantin Mischaikow, Hiroe Oka, Graph-based topological approximation of saddle-node bifurcation in maps, *RIMS Kokyuroku Bessatsu B* 31 (2012), 225-241.
54. Kei-ichi Ueda, Seiji Takagi, Toshiyuki Nakagaki, Tractive direction determined by the interaction between oscillatory chemical waves and rheological deformation in an amoeba, *Phys. Rev. E* 86, 011927 [6 pages] (2012), (DOI: 10.1103/PhysRevE.86.011927)
55. Y. Atsumi, H. Nakao, Persistent fluctuations in synchronization rate in globally coupled oscillators with periodic external forcing, *Phys. Rev. E* 85, 056207 [12 pages] (2012), (DOI: 10.1103/PhysRevE.85.056207)
56. K. Kotani, I. Yamaguchi, Y. Ogawa, Y. Jimbo, H. Nakao, G. B. Ermentrout, Adjoint method provides phase response functions for delay-induced oscillations, *Physical*

- Review Letters 109, 044101 [4 pages] (2012), DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.044101
57. S. Hata, H. Nakao, A. S. Mikhailov, Global feedback control of Turing patterns in network-organized activator-inhibitor systems, *Europhysics Letters* 98, 64004 [6 pages] (2012), DOI: 10.1209/0295-5075/98/64004
  58. S. Aoi, Y. Egi, R. Sugimoto, T. Yamashita, S. Fujiki, and K. Tsuchiya, "Functional roles of phase resetting in the gait transition of a biped robot from quadrupedal to bipedal locomotion", *IEEE Transactions on Robotics*, 28(6):1244-1259, 2012 (DOI: 10.1109/TRO.2012.2205489).
  59. S. Aoki, Y. Sato, and D. Yanagihara, "Characteristics of leading forelimb movements for obstacle avoidance during locomotion in rats", *Neuroscience Research*, 74(2):129-37, 2012 (DOI:10.1016/j.neures.2012.07.007).
  60. Justin Bush, Marcio Gameiro, Shaun Harker, Hiroshi Kokubu, Konstantin Mischaikow, Ippei Obayashi, and Pawel Pilarczyk, Combinatorial-topological framework for the analysis of global dynamics, *Chaos* 22, 047508 (2012) (DOI:10.1063/1.4767672)
  61. Takaaki Aoki and Toshio Aoyagi, Scale-free structures emerging from co-evolution of a network and the distribution of a diffusive resource on it, *Physical Review Letters*, vol.109, 208702, 2012 (DOI:10.1103/PhysRevLett.109.208702)
  62. Takuma Tanaka, Toshio Aoyagi, Takeshi Kaneko, "Replicating receptive fields of simple and complex cells in primary visual cortex in a neuronal network model with temporal and population sparseness and reliability", *Neural Computation*, vol. 24, no.10, pp.2700–2725, 2012 (DOI: 10.1162/NECO\_a\_00341)
  63. 山口郁博, 小川雄太郎, 中尾裕也, 神保泰彦, 小谷潔, "時間遅れを持つ皮質-視床モデルの実 Ginzburg-Landau 方程式への縮約", *電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌)* IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol.132, No.10, pp.1563-1574, 2012 (DOI: 10.1541/ieejeiss.132.1563)
  64. 山口郁博, 小川雄太郎, 中尾裕也, 神保泰彦, 小谷潔, "時間遅れを持つ皮質-視床モデルの線形解析", *電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌)* IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol.132, No.11, pp.1787-1797, 2012 (DOI: 10.1541/ieejeiss.132.1787)
  65. S. Aoi, Y. Egi, and K. Tsuchiya, "Instability-based mechanism for body undulations in centipede locomotion", *Physical Review E*, 87(1):012717, 2013. (DOI:10.1103/PhysRevE.87.012717)
  66. S. Aoi, D. Katayama, S. Fujiki, N. Tomita, T. Funato, T. Yamashita, K. Senda, and K. Tsuchiya, "A stability-based mechanism for hysteresis in the walk-trot transition in quadruped locomotion", *Journal of the Royal Society Interface*, 10(81):20120908, 2013. (DOI:10.1098/rsif.2012.0908)
  67. S. Aoi, T. Kondo, N. Hayashi, D. Yanagihara, S. Aoki, H. Yamaura, N. Ogihara, T. Funato, N. Tomita, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Contributions of phase resetting and interlimb coordination to the adaptive control of hindlimb obstacle avoidance during locomotion in rats: a simulation study", *Biological Cybernetics*, 107(2):201-216, 2013. (DOI: 10.1007/s00422-013-0546-6)
  68. E. Takeuchi, Y. Sato, E. Miura, H. Yamaura, M. Yuzaki, and D. Yanagihara, "Characteristics of gait ataxia in  $\delta 2$  glutamate receptor mutant mice, ho15J", *PLoS ONE*, 7(10):e47553, 2012 (DOI:10.1371/journal.pone.0047553)
  69. 森田英俊, 大自由度保存力学系における集団的振動, *数理解析研究所講究録* 1827, 42-51 (2013)
  70. S. Aoi, N. Hayashi, T. Kondo, D. Yanagihara, S. Aoki, H. Yamaura, N. Ogihara, T. Funato, N. Tomita, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Hindlimb obstacle avoidance during rat locomotion based on a neuromusculoskeletal model", *Proceedings of the 4th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and*

- Biomechatronics, pp. 1046-1051, 2012. (DOI: 10.1109/BioRob.2012.6290884)
71. T. Funato, Y. Yamamoto, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Analysis of rhythm adjustment mechanism of human locomotion against horizontal perturbation", Proceedings of the 4th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, pp. 1359-1364, 2012. (DOI: 10.1109/BioRob.2012.6290935)
  72. S. Fujiki, S. Aoi, T. Kohda, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Emergence of hysteresis in gait transition of a hexapod robot driven by nonlinear oscillators with phase resetting", Proceedings of the 4th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, pp. 1638-1643, 2012. (DOI: 10.1109/BioRob.2012.6290733)
  73. Takaaki Aoki and Toshio Aoyagi, "Co-evolving Network Dynamics between Reaction-Diffusive Resources on Nodes and Weighted Connections", Proceedings of 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2012), pp. 574-577, 2012 (DOI: なし)
  74. Wataru Kurebayashi, Kantaro Fujiwara, Hiroya Nakao, and Tohru Ikeguchi, "A Theory on Noise-Induced Synchronization of Chaotic Oscillators", Proceedings of 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Palma, Majorca, Spain, pp. 344-347, 2012 (DOI: なし).
  75. Ikuhiro Yamaguchi, Yutaro Ogawa, Hiroya Nakao, Yasuhiko Jimbo, and Kiyoshi Kotani, "Ginzburg-Landau Equations Reduced from Coupled Delay Differential Equations", Proceedings of 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Palma, Majorca, Spain, pp. 915-918, 2012 (DOI: なし).
  76. Hiroya Nakao, Tatsuo Yanagita, and Yoji Kawamura, "Phase description of stable limit-cycle solutions in reaction-diffusion systems", Procedia IUTAM, vol. 5, pp. 227-233, 2012.
  77. T. Funato, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "A system model that focuses on kinematic synergy for understanding human control structure", Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 378-383, 2012. (DOI: 10.1109/ROBIO.2012.6490996)
  78. S. Aoi, D. Katayama, S. Fujiki, T. Kohda, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Cusp catastrophe embedded in gait transition of a quadruped robot driven by nonlinear oscillators with phase resetting", Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 384-389, 2012. (DOI: 10.1109/ROBIO.2012.6490997)
  79. S. Fujiki, S. Aoi, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Improving adaptive walking of a biped robot on a splitbelt treadmill by controlling the interlimb coordination", Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 396-401, 2012. (DOI: 10.1109/ROBIO.2012.6490999)
  80. T. Funato, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "The contribution of kinematic synergy on feedback control of human walking", Proceedings of the 6th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, pp. 35-36, 2013. (DOI: なし)

**2013 年度:**

81. Hiroshi Kokubu and Hiroe Oka, A topological computation approach to the interior crisis bifurcation, Nonlinear Theory and its Applications IEICE, Vol.4, No.1 (2013), 97-103. (DOI: 10.1587/nolta.4.97)
82. Shigefumi Hata, Hiroya Nakao, and Alexander S. Mikhailov, "Advection of passive particles over flow networks", Physical Review E (American Physical Society) 89, 020801(R) (2014) [4 pages] (DOI: 10.1103/PhysRevE.89.020801)
83. Yoji Kawamura and Hiroya Nakao, "Noise-induced synchronization of oscillatory convection and its optimization", Physical Review E (American Physical Society)

- 89, 012912 (2014) [13 pages] (DOI: 10.1103/PhysRevE.89.012912)
84. Shigefumi Hata, Hiroya Nakao, and Alexander S. Mikhailov, “Dispersal-induced destabilization of metapopulations and oscillatory Turing patterns in ecological networks”, *Scientific Reports* (Nature Publishing Group) 4, 3585 (2014), DOI: 10.1038/srep03585 [9 pages] (DOI: 10.1038/srep03585)
  85. Shigefumi Hata, Hiroya Nakao, and Alexander S. Mikhailov, “Sufficient conditions for wave instability in three-component reaction-diffusion systems”, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 013A01 (2014) [17 pages] (DOI: 10.1093/ptep/ptt102)
  86. Yoji Kawamura and Hiroya Nakao, “Collective phase description of oscillatory convection”, *Chaos* (American Institute of Physics), Chaos 23, 043129 [11 pages] (2013) (DOI: 10.1063/1.4837775)
  87. Wataru Kurebayashi, Sho Shirasaka, and Hiroya Nakao, “A phase reduction method for strongly perturbed limit cycle oscillators”, *Physical Review Letters* (American Physical Society) 111, 214101 [5 pages] (2013) (DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.214101)
  88. Yu Atsumi, Shigefumi Hata, and Hiroya Nakao, “Phase ordering in coupled noisy bistable systems on scale-free networks”, *Physical Review E* (American Physical Society) 88, 052806 [15 pages] (2013) (DOI: 10.1103/PhysRevE.88.052806)
  89. Soichiro Fujiki, Shinya Aoi, Tsuyoshi Yamashita, Tetsuro Funato, Nozomi Tomita, Kei Senda, and Kazuo Tsuchiya, “Adaptive splitbelt treadmill walking of a biped robot using nonlinear oscillators with phase resetting”, *Autonomous Robots*, vol. 35, No. 1, pp. 15-26, 2013 (DOI: 10.1007/s10514-013-9331-6)
  90. Soichiro Fujiki, Shinya Aoi, Tetsuro Funato, Nozomi Tomita, Kei Senda, and Kazuo Tsuchiya, “Hysteresis in the metachronal-tripod gait transition of insects: A modeling study”, *Physical Review E*, vol.88, No.1, pp. 012717-1-012717-7, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevE.88.012717)
  91. Sho Aoki, Yamato Sato, and Dai Yanagihara, “Lesion in the lateral cerebellum specifically produces overshooting of the toe trajectory in leading forelimb during obstacle avoidance in the rat”, *Journal of Neurophysiology*, vol. 110, No. 7, pp.1511-1524, 2013 (DOI: 10.1152/jn.01048)
  92. Hiroshi Yamaura, Hirokazu Hirai, and Dai Yanagihara, “Postural dysfunction in a transgenic mouse model of spinocerebellar ataxia type 3”, *Neuroscience*, vol. 243, pp.126-135, 2013 (DOI: 10.1016/j.neuroscience.2013.03.044)
  93. Hiroko Kotajima, Kazuhisa Sakai, Tsutomu Hashikawa, and Dai Yanagihara, “Effects of inferior olive lesion on fear-conditioned bradycardia”, *NeuroReport*, 25(8):556-561, 2014 (DOI: 10.1097/WNR.000000000000135)
  94. 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄, “運動学シナジーに基づくヒトの歩行制御構造の構成論的理解”, *日本ロボット学会誌*, vol. 31, No. 8, pp. 739-746, 2013 (DOI:10.7210/jrsj.31.739)
  95. Mitsuru Saito, Takuma Tanaka, Hajime Sato, Hiroki Toyoda, Toshio Aoyagi and Youngnam Kang, A mathematical model of negative covariability of inter-columnar excitatory synaptic actions caused by presynaptic inhibition, *European Journal of Neuroscience*, Vol.38, Issue 7, 2999–3007(2013).
  96. Tetsuro Funato, Yuki Yamamoto, Shinya Aoi, Nozomi Tomita, Takashi Imai, Toshio Aoyagi, Kazuo Tsuchiya, Estimating the phase response curve of human walking using WSTA method, *Proceedings of SICE Annual Conference 2013*, 1298-1299 (2013).
  97. 太田絵一郎, 田中琢真, 青柳富誌生, 三体相互作用を持つ位相振動子ネットワークに生じる複数の「連続的」なアトラクタについて, *京都大学数理解析研究所講究録*, No. 1827, 62-67 (2013).

98. Yoshiyuki Kubota, Masaki Nomura, Karube Fuyuki and Yasuo Kawaguchi, "Functional Significance of Rall's Power of Three Halves Law in Cortical Nonpyramidal Cells", *Advances in Cognitive Neurodynamics (III)*, pp. 45-51. (2013) (ISBN:9789400747920)
99. Masaki Nomura and Mariko Okada-Hatakeyama, "Phase responses of oscillating components in a signaling pathway", *Frontiers in Physiology*, vol. 4, (8 pages) (2013) (DOI: 10.3389/fphys.2013.00068)
100. Tomohiro Kaji, Koji Furukawa, Akiko Ishige, Itsumi Toyokura, Masaki Nomura, Mariko Okada, Yoshimasa Takahashi, Michiko Shimoda and Toshitada Takemori, "Both mutated and unmutated memory B cells accumulate mutations in the course of the secondary response and develop a new antibody repertoire optimally adapted to the secondary stimulus", *International Immunology*, vol.25, No.12, pp.683-695. (2013) (DOI:10.1093/intimm/dxt030)

**2014 年度:**

101. Masahiro Kazama, Wataru Kurebayashi, Takahiro Tsuchida, Yuta Minoshima, Mikio Hasegawa, Koji Kimura, and Hiroya Nakao, "Enhancement of noise correlation for noise-induced synchronization of limit-cycle oscillators by threshold filtering", *Nonlinear Theory and Its Applications (IEICE)* 5, 157-171 (2014). DOI: 10.1587/nolta.5.157
102. Hiroya Nakao, Tatsuo Yanagita, and Yoji Kawamura, "Phase reduction approach to synchronization of spatiotemporal rhythms in reaction-diffusion systems", *Physical Review X (American Physical Society)* (2014) 4, 021032 (2014) [23 pages]. DOI: 10.1103/PhysRevX.4.021032
103. Hiroya Nakao, "Complex Ginzburg-Landau equation on networks and its non-uniform dynamics", *European Physical Journal Special Topics*, DOI: 10.1140/epjst/e2014-02220-1.
104. W. Kurebayashi, T. Ishii, M. Hasegawa and H. Nakao, "Design and control of noise-induced synchronization patterns", *EPL (European Physical Society)* 107, 10009 (2014), DOI: 10.1209/0295-5075/107/10009
105. Ikuhiro Yamaguchi, Yutaro Ogawa, Hiroya Nakao, Yasuhiko Jimbo, and Kiyoshi Kotani, "Linear Analysis of the Corticothalamic Model with Time Delay", *Electronics and Communications in Japan, Volume 97, Issue 8, pages 32-44, August 2014*, DOI: 10.1002/ecj.11581
106. Ken Nishikawa, Wataru Kurebayashi, and Hiroya Nakao, "Bayesian Parameter Estimation of Non-stationary Collective Dynamics in Moving Animal Groups", *Proceedings of 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Luzern, Switzerland, 882-885 (2014)*. DOI:なし
107. Wataru Kurebayashi, Sho Shirasaka, and Hiroya Nakao, "Synchronization Analysis of Nonlinear Oscillators by a Quadratic Phase Model", *Proceedings of 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Luzern, Switzerland, 874-877 (2014)*. DOI:なし
108. S. Aoki, Y. Sato, and D. Yanagihara, "Effect of inactivation of the intermediate cerebellum on overground locomotion in the rat: a comparative study of the anterior and posterior lobes", *Neurosci. Lett.*, 576:22-27, 2014 (DOI:10.1016/j.neulet.2014.05.027)
109. S. Fujiki, S. Aoi, D. Yanagihara, T. Funato, N. Tomita, N. Ogihara, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Hindlimb splitbelt treadmill walking of a rat based on a neuromusculoskeletal model", *Proceedings of the 5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, pp. 881-886, 2014 (DOI:10.1109/BIOROB.2014.6913892)
110. S. Aoi, T. Tanaka, S. Fujiki, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Experimental verification



- of cusp catastrophe in the gait transition of a quadruped robot driven by nonlinear oscillators with phase resetting", Proceedings of the 5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, pp. 825-830, 2014 (DOI:10.1109/BIOROB.2014.6913881)
111. T. Funato, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Dynamical analysis of human standing model with cyclic motion", Proceedings of the 5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, pp. 627-631, 2014 (DOI:10.1109/BIOROB.2014.6913848)
  112. S. Fujiki, S. Aoi, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Generation of adaptive splitbelt treadmill walking of a biped robot using learning of intralimb and interlimb coordinations", Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2392-2397, 2014 (DOI:10.1109/ICRA.2014.6907191)
  113. S. Noro, T. Funato, S. Aoi, K. Nakano, and K. Tsuchiya, "Experimental validation of nonlinear PID model for human standing with large body sway", Proceedings of 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, pp. 1-5, 2014 (DOI:10.1109/ECTICon.2014.6839874)
  114. Y. Hagino, S. Kasai, M. Fujita, S. Setogawa, H. Yamaura, D. Yanagihara, M. Hashimoto, K. Kobayashi, Y. Meltzer, and K. Ikeda, "Involvement of cholinergic system in hyperactivity in dopamine-deficient mice", *Neuropsychopharmacology*, 2014 (DOI:10.1038/npp.2014.295).
  115. Shun Ogawa, Julien Barre, Hidetoshi Morita, and Yoshiyuki Y. Yamaguchi, "Dynamical pattern formations in two dimensional fluid and Landau pole bifurcation," *Physical Review E* vol. 89, 063007, 2014 (DOI:10.1103/PhysRevE.89.063007)
  116. T. Miyaji, H. Okamoto, and A.D.D. Craik, "A four-leaf chaotic attractor of a three-dimensional dynamical system", to appear in *International Journal of Bifurcation and Chaos*.
  117. Y. Kawamura and H. Nakao, "Phase description of oscillatory convection with a spatially translational mode", *Physica D (Elsevier)* 295-296, pp. 11-29, 2015 (DOI: 10.1016/j.physd.2014.12.007)
  118. W. Kurebayashi, S. Shirasaka, and H. Nakao, "A criterion for timescale decomposition of external inputs for generalized phase reduction of limit-cycle oscillators", *Nonlinear Theory and Its Applications (IEICE)*, in press (2015).
  119. T. Hayakawa, T. Kaneko and T. Aoyagi, "A Biologically Plausible Learning Rule for the Infomax on Recurrent Neural Networks", ***Frontiers in Computational Neuroscience***, vol.8, 143, 2014 (DOI: doi: 10.3389/fncom.2014.00143)
  120. T. Aoki, K. Yawata, and T. Aoyagi, "Self-organization of complex networks as a dynamical system", ***Physical Review E***, vol. 91, 012908, 2015 (DOI:10.1103/PhysRevE.91.012908)
  121. Setogawa, S., Yamaura, H., Arasaki, T., Endo, S., Yanagihara, D., "Deficits in memory-guided limb movements impair obstacle avoidance locomotion in Alzheimer's disease mouse model", *Sci. Rep.*, 4, 7220, 2014 (DOI:10.1038/srep07220)
  122. T. Funato, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Validating the feedback control of intersegmental coordination by fluctuation analysis of disturbed walking", *Experimental Brain Research*, in press (DOI:10.1007/s00221-015-4216-x)
  123. S. Harker, H. Kokubu, K. Mischaikow, P. Pilarczyk, Inducing a map on homology from a correspondence, Proceedings of American Mathematical Society, in press (2015)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

**2009 年度:**

1. 青柳富誌生, 第2版 現代数理科学事典, 丸善, 2009 (共著): 5章 神経脳科学, 5.1.1 神経細胞と脳の情報表現, 5.1.2 神経細胞の数理モデル, 300-305; および 5.2.1 神経細胞集団と同期, 308-311.
2. 青柳富誌生, シリーズ脳科学 第1巻 脳の計算論, 東大出版, 2009 (共著):4章 リズム活動と位相応答, 45-92.
3. 青井伸也, 土屋和雄, "多脚歩行ロボットの力学特性と運動機能", システム/制御/情報, Vol. 53, No. 12, pp. 500-505, 2009.

**2010 年度:**

4. 柳原大. 歩行の制御における小脳機能. BRAIN and NERVE. 62, 1149-1156, 2010.
5. 土屋和雄, 青井伸也, 舩戸徹郎, "環境適応機能を有する歩行ロボットの構成論", システム/制御/情報, Vol. 54, No. 11, pp. 418-424, 2010.

**2011 年度:**

6. 國府寛司. 力学系の大域的構造に対する計算機援用解析. 特集「計算が拓く数学と物理の世界—自然を語る数値と計算」. 数理科学 578号(2011年8月号), 14-19.
7. 柳原大. 小脳における姿勢制御機構. 姿勢の脳・神経科学—その基礎から臨床まで— (大築立志, 鈴木三央, 柳原大 編集). 85-90. 市村出版(東京). 2011.
8. 柳原大. 運動の制御にかかわる神経機構. 健康・スポーツ科学テキスト:機能解剖・バイオメカニクス. (北川薫 編集). 161-170. 文光堂(東京). 2011.

**2012 年度:**

なし

**2013 年度:**

9. S. Aoi, "Adaptive walking of a biped robot using nonlinear oscillators with phase resetting", Advances in Robotics - Modeling, Control and Applications, C. Ciufudean and L. Garcia (Eds.), pp. 1-18, iConcept Press, 2013.
10. S. Aoi, "Biologically inspired CPG-based locomotion control system of a biped robot using nonlinear oscillators with phase resetting", Interdisciplinary Mechatronics: Engineering Science and Research Development, M.K. Habib and J.P. Davim (Eds.), pp. 37-68, Wiley-ISTE, 2013.
11. S. Aoi, "Gait transition control of a biped robot from quadrupedal to bipedal locomotion based on central pattern generator, phase resetting, and kinematic synergy", Engineering Creative Design in Robotics and Mechatronics, M.K. Habib and J.P. Davim (Eds.), pp. 11-24, IGI Global, 2013.
12. S. Aoi, "Low-dimensional structures embedded in human locomotion: Data analysis and modeling", Self-organization: Theories and Methods, W.J. Zhang (Ed.), pp. 155-170, Nova Science Publishers, 2013.
13. S. Aoi, "Simple legged robots that reveal biomechanical and neuromechanical functions in locomotion dynamics", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 26, No. 1, pp. 98-99, 2014.
14. 青井伸也, "歩行制御のシステム論的理解", ヒトの動きの神経科学シリーズ・II 歩行と走行の脳・神経科学—その基礎から臨床まで— (大築立志, 鈴木三央, 柳原大 編), pp. 100-112, 市村出版, 2013
15. 柳原大, "歩行の制御における小脳機能", ヒトの動きの神経科学シリーズ・II 歩行と走行の脳・神経科学—その基礎から臨床まで— (大築立志, 鈴木三央, 柳原大 編), pp.70-82, 市村出版, 2013

16. 中尾裕也, 応用数理ハンドブック(日本応用数理学会監修, 薩摩・大石・杉原監修, 朝倉書店, 2013)中「リアプノフ指数」(pp. 48-49)および「大自由度カオス」(pp. 52-53).

**2014 年度:**

17. 大林一平, 國府寛司「歩行と力学系」, 数学セミナー2014年7月号, 36-41 (2014).
18. 中尾裕也, 秦重史, 「複雑ネットワーク上の反応拡散系における Turing 不安定性とパターン形成」, 日本流体力学会誌「ながれ」33, 29-36 (2014).
19. S. Aoi, "Neuromusculoskeletal modeling for the adaptive control of posture during locomotion", *Neuromechanical Modeling of Posture and Locomotion*, B. Prilutsky and D.H. Edwards, Jr (Eds.), Springer, 2015.
20. S. Aoi, "Gait generation and transition of a biped robot based on kinematic synergy in human locomotion", *Handbook on Research in Robotics and Mechatronics*, M.K. Habib (Ed.), pp. 1-18, IGI Global, Hershey, PA, USA, in press.
21. S. Aoi, "Neuromechanical models revealing hysteresis mechanism in gait transitions of animals", *Hysteresis: Types, Applications and Behavior Patterns in Complex Systems*, J.C. Dias (Ed.), pp. 285-300, Nova Science Publishers, New York, NY, USA, 2014.
22. 宮路智行, "Craig's 3D dynamical system arising in fluid mechanics", 数理解析研究所講究録 1905, 144-147 (2014)
23. 紅林 亘, 白坂 将, 中尾裕也, 「二次の位相モデルとその発振回路の同期現象解析への応用」, 回路とシステムワークショップ 論文集 Workshop on Circuits and Systems **27**, 270-275, 2014-08-04 [電子情報通信学会].
24. 田中久陽, 中尾裕也, 千葉逸人, 「ストロガッツ 非線形ダイナミクスとカオス」(丸善出版)(Steven Strogatz, "Nonlinear Dynamics and Chaos", Westview Press の和訳書), 2015.
25. Yanagihara, D.: Role of the cerebellum in postural control. *J. Phys. Fitness Sports Med.* 3, 169-172, (2014).
26. 柳原大, 竹内絵理, 山浦洋, 青木祥: 歩行制御, 姿勢制御における小脳機能の新知見. 体育の科学. 64, 318-323 (2014).
27. 柳原大, 山浦洋: 姿勢制御における小脳の役割. In: 宮村実晴 編, ニュー運動生理学 I, 真興交易(株)医書出版部, pp. 97-102, (2014).

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

- ① 招待講演 (国内会議 47 件、国際会議 22 件)

〈国内〉

**2009 年度:**

1. 太田絵一郎, 青柳富誌生, リズム系における同期現象解析のための実験的手法, オープンセミナー「複雑形科学への誘い」(2010/1/15), 京都大学 情報学研究科, 2010/1/15
2. 中尾裕也, スケールフリーネットワーク上の結合振動子系のダイナミクス, ネットワークダイナミクス研究会(電子情報通信学会 非線形問題研究会), 上智大学, 2010/3/9
3. 上田肇一, 大域的分岐図を利用したパルスダイナミクスの解析, 日本数学会年会・応用数学分科会特別講演, 2010年3月27日, 慶應義塾大学理工学部

**2010 年度:**

4. 青柳富誌生, 神経ネットワークの数理モデル, 第 59 回生命機能研究科研究交流会(2010/5/28), 大阪大学生命機能研究科, 2010/5/28.
5. 中尾裕也, Synchronization of nonlinear oscillators by common fluctuating signals,

第 49 回日本生体医工学会 オーガナイズドセッション「生物のリズム戦略」, 大阪国際交流センター, 2010/6/26.

6. 柳原 大. 運動・スポーツにおける技の習得と認知・予測に関わる小脳皮質の機能. 平成 22 年度第 1 回 JISS 医科学セミナー. 2010 年 6 月.
7. 富田望, "ヒトの歩行・走行歩容遷移機構の解明", 第 1 回ニューロ・リハ・ロボ研究会 WSNRR, 東北大学・電気通信研究所, 2010 年 8 月 3 日.
8. 柳原 大. 運動の制御, 学習・記憶, 認知・予測における小脳皮質の役割. 運動生理学キーノートレクチャー. 日本体育学会第 61 回大会. 2010 年 9 月.
9. 青井伸也: Simulation study of bipedal walking in Japanese monkeys and humans, 第 10 回教育改革推進室セミナー, 吹田市・大阪大学人間科学部, 2011/2/16.
10. 土屋和雄: 「多体力学系の運動とその制御」—宇宙機, ロボットそして生物の運動—, 第 11 回制御部門大会, 沖縄かりゆしアーバンリゾート那覇, 2011/3/17.

#### 2011 年度:

11. 富田望, "「二足歩行運動の創発的制御と特異値分解による運動解析 — 構成論的アプローチと数理解析的アプローチでヒトの運動機能を理解する」", 第 2 回ニューロ・リハ・ロボ研究会 WSNRR, 九州工業大学 大学院 生命体工学研究科, 2011 年 6 月 27 日.
12. 青柳富誌生, リズムと同期の数理解析モデル-神経ネットワークを中心として-, 応用数学連携フォーラム「第 1 回生命科学者のための使える数学セミナー」, 東北大学加齢研, 2011 年 7 月 6 日.
13. 中尾裕也, 「非線形振動子の確率的な位相縮約とノイズ同期現象」, 第 21 回日本数理生物学会大会, 明治大学, 2011 年 9 月 14 日.
14. 柳原大. 歩行および姿勢の適応制御における小脳の役割. 脳生理研修会. 誠愛リハビリテーション病院. 福岡県, 2011 年 10 月 16 日.
15. 中尾裕也, 「反応拡散系の周期解に対する位相記述によるアプローチ」, GCOE「数学新展開の研究教育拠点」シンポジウム 致死性不整脈の機序の解明;非線形ダイナミクスからのアプローチ(第 2 回), 東京大学大学院数理科学研究科, 2011 年 11 月 8 日.
16. 青柳富誌生, ニューロンの3体相互作用とアナログ情報の記憶メカニズム, 第 4 回 HHS 領域会議, 大阪大学豊中キャンパス基礎工学部, 2012/1/19.
17. 青柳富誌生, 結合が変化するネットワーク力学系のダイナミクス, 物性理論コロキウム, 新潟大学理学部物理学科物質生産棟, 2012/1/25,

#### 2012 年度:

18. 青柳富誌生(京大), リズムとネットワークの数理 —自然現象から生命・社会現象まで—, 青柳富誌生, シンポジウム: 複雑系科学の最前線 —理論から社会に役立つ応用まで—, 京都大学工学部総合校舎, 2012/6/2.
19. 國府寛司, ダイナミクス全構造計算による新しい相空間構造解析の方法とその応用, 第 50 回自律分散システム部会研究会, 京都大学吉田キャンパス 百周年時計台記念館 国際交流ホール, 2012/6/15.
20. 青柳富誌生(京大), 青木高明(香川大), 変化するネットワーク上の結合力学系のダイナミクス, 第 50 回自律分散システム部会研究会, 京都大学吉田キャンパス 百周年時計台記念館 国際交流ホール, 2012/6/15.
21. 青井伸也, "システム工学から見た歩行 CPG の機能とモデル化", 第 6 回 Motor Control 研究会, 自然科学研究機構 岡崎コンファレンスセンター, 2012 年 6 月 22 日.
22. 青井伸也, "生物に学ぶ適応的自律移動メカニズム", 日本航空宇宙学会 関西支部 第 437 回航空懇談会, 京都大学, 2012 年 7 月 13 日.
23. 中尾裕也(東工大), 「反応拡散系におけるリミットサイクル解の位相縮約法」, 力学系とその周辺分野の研究, 京都大学数理解析研究所, 2012/7/13.
24. 富田望, "ヒト歩容遷移現象の行動実験とデータ解析", 第 4 回ニューロ・リハ・ロボ研究会

WSNRR, 東北大学・医学部, 2012年8月9日.

25. 青井伸也, "ヒト歩行運動に内在する低次元構造とシステムモデル", 第18回創発システム・シンポジウム, 同志社びわこリトリートセンター, 2012年9月2日.
26. 中尾裕也, 「複雑ネットワーク上の拡散誘起不安定性によるパターン形成とダイナミクス」, CMRU研究会"ネットワーク科学の数理と展開", 東北大学, 2012/9/13.
27. 森田英俊「大自由度保存力学系における集団的振動」数理解析研究所共同研究集会「力学系の作る集団ダイナミクス—保存系・散逸系の枠組みを越えて—」(招待講演) 9/27/2012
28. 土屋和雄, "宇宙工学への招待—宇宙機の姿勢運動解析・制御から—", 第2回スペースフライト学研究イニシアティブ講演会, 大阪大学工学部, 2013年3月1日.

#### 2013年度:

29. 青柳富誌生, 太田絵一郎, リズムを持つ時系列データからダイレクトに縮約した位相振動子ネットワークを推定する, 広島大学大学院理学研究科 NLPM コロキウム, 広島大学 東広島キャンパス, 2013/5/2.
30. 中尾裕也, 「非線形振動子の位相縮約理論とその応用」, 第24回(平成25年度)振動基礎研究会, 東京工業大学大岡山キャンパス, 平成25年6月21日-22日.
31. 森田英俊, 稲津将, 國府寛司, "An application of (Conley-)Morse graph to meteorological data," 第1回理研 AICS・京大数学合同データ同化研究会, 理研 AICS (神戸市), 2013年8月9日(招待講演).
32. 青柳富誌生, ネットワーク上のダイナミクスの数理モデル—リズムや拡散を題材として—, 第53回生物物理 夏の学校 (2013/9/6-2013/9/9), 伊豆長岡温泉えふでの宿八の坊, 2013/9/7.
33. 青井伸也, “生物の歩行適応機能の構成論的理解”, 第5回 Beyond Robotics, 大阪大学吹田キャンパス, 2013/12/7
34. 青井伸也, “生物の適応的歩行制御機構の構成論的理解”, H25年度第5回ブレインウェア研究会, 東北大学 電気通信研究所, 2013/12/24
35. 大林一平, "倒立/二重振子と受動歩行のモデリング", 「現象数理冬の学校」—モデルを通して現象を視る, 明治大学, 2014/02/05-06
36. 宮路智行, CAPDを用いた微分方程式の精度保証, 応用数学チュートリアル2014, かんばの宿那覇レクセンター, 沖縄県青年会館, 平成26年2月22日-24日
37. 土屋和雄, “システムバイオメカニクス”, 同志社大学先端バイオメカニクス研究センター2013年度研究成果発表会, 同志社大学 京田辺キャンパス, 2013/3/7
38. 青柳 富誌生, 「結合振動子ネットワークの結合関数—可塑性および統計的推定について—」, 研究集会「力学系・振動子系・非一様性」(2014年3月17日-18日), 大阪府立大学 I-site なんば, 2014年3月17日.
39. 中尾裕也, 「位相縮約法の非従来の振動系への拡張とその応用」, 研究集会「力学系・振動子系・非一様性」, 大阪府立大学 I-site なんば, 2014年3月17日-18日.

#### 2014年度:

40. 國府寛司, Detecting Morse Decompositions of the Global Attractor of Regulatory Networks by Time Series Data, 第5回「ハミルトン系とその周辺」研究集会, 金沢大学サテライトプラザ, 2014/5/29-31
41. 國府寛司, 力学系の位相計算的時系列解析法と その気象学への応用の試み, 研究集会「非線形現象の数理」, 休暇村紀州加太, 和歌山市, 2014年12月26-28日
42. 柳原大, “歩行・姿勢の適応制御における小脳の役割”, 第49回日本理理学療法学会, 横浜, 2014/6/1
43. 宮路智行, 常微分方程式の初期値問題に対する精度保証付き数値計算とその応用, 第3回力学系数理コロキウム, 京都大学吉田キャンパス本部構内総合校舎2階213講義室, 2014/7/3

44. 宮路智行, 三次元常微分方程式系の周期軌道の計算機援用解析, ダイナミクス研究会中野, 明治大学中野キャンパス, 2014/7/16
45. 宮路智行, Computer assisted analysis of Craik's and Pehlivan's 3D dynamical systems, 数値解析セミナー(第62回), 東京大学, 2014/7/28
46. 宮路智行, Computer assisted analysis of Craik's and Pehlivan's 3D dynamical systems, 数値解析・応用解析セミナー, 京都大学, 2014/7/31
47. 青井伸也: 生物の適応的歩行生成機序の解明に向けた構成論的アプローチ, 第6回神経科学・リハビリテーション・ロボット工学のシナジー効果に関する研究会, 九州工業大学院生命体研究科, 2015/1/28.

〈国際〉

**2009 年度:**

1. Hiroshi Kokubu, A method for constructing databases for global dynamics of multi-parameter systems, International Workshop on "What is Evolution?" -Bicentennial of Charles Darwin's Birth-, October 15-18, 2009, COOP-INN Kyoto Conference Hall
2. K. Tsuchiya, S. Aoi, T. Funato, and N. Ogihara, "System Models of Animal Locomotion", Cognition for Technical Systems Fall Workshop, Munich, Oct., 2009.
3. Hiroshi Kokubu, A method for constructing databases for global dynamics of multi-parameter systems, Japan-Taiwan Joint Workshop on "Numerical Analysis and Scientific Computations" Department of Mathematics, National Taiwan University, November 7-8, 2009

**2010 年度:**

4. Hiroshi Kokubu, Rigorous Topological Computation of Dynamics and Applications, Long-term workshop: Mathematical Sciences and Their Applications, Hotel Rako-Hananoi, Kamisuwa, Nagano, Japan, September 19-October 2, 2010
5. Hiroshi Kokubu, A topological-computational method for global analysis of dynamical systems, RIMS Conference "Structures of Attractors in Dissipative Systems", RIMS, Kyoto University, Kyoto, Japan, November 15-17, 2010
6. \*Hiroshi Kokubu, Topological bifurcation theorems for Morse decompositions, International Conference "Far-From-Equilibrium Dynamics", RIMS, Kyoto University, Kyoto, Japan, January 4-8, 2011

**2011 年度:**

7. Hiroshi Kokubu, Graph based topological computation for global analysis of dynamical systems, Conference on Computational Methods in Dynamics, ICTP, Trieste, Italy, July 4-8, 2011
8. \*Hiroshi Kokubu, Topological-computational methods for analyzing global dynamics and bifurcations, IUTAM Symposium on 50 years of chaos, Kyoto University, Japan, November 28 - December 2, 2011
9. Hiroya Nakao. "Spatiotemporal pattern formation in reaction-diffusion systems on complex networks", SMART Workshop: Exploring Collaborative Mathematics, Tohoku University, Japan, March 14, 2012.

**2012 年度:**

10. Hiroshi Kokubu, "Topological Computation Methods for Global Dynamics and Bifurcations, Part 1: Theory, Part 2: Application", NCTS Workshop on Dynamical Systems, National Center for Theoretical Science, National Tsinghua University, Hsinchu, Taiwan, May 16-29, 2012
11. Hiroshi Kokubu, "Topological computation method for global dynamics and its

application”, Nonlinear Partial Differential Equations, Dynamical Systems and Their Applications, RIMS, Kyoto University, September 3-6, 2012.

12. \*Hiroshi Kokubu, Topological Computation Method for Dynamical Time Series Analysis and its Applications, The First International Conference on Dynamics of Differential Equations, Georgia Institute of Technology, Atlanta, U.S.A. March 15-20, 2013

#### 2013 年度:

13. Hiroshi Kokubu, A topological computation method for global dynamics and its applications Workshop on Industrial and Applied Mathematics, Chinese Academy of Science, Beijing, P.R. China, May 10, 2013
14. Ipei Obayashi, "Dynamics of simple walking models", RIMS Conference "Dynamics and Applied Topology", RIMS, Kyoto University, 2013/06/12
15. Hiroya Nakao, "Pattern formation in network-organized reaction-diffusion systems", Workshop on nonlinear PDE approach to network and related topics?, Kawai Hall, Tohoku University, June 27-29, 2013.
16. Hiroshi Kokubu, Dynamical time series analysis using a topological computation method, 2013 Northeastern Asian Symposium on High Performance Computing Methods and Modeling, Chengdu, China, September 22-24, 2013
17. Hiroya Nakao, "Synchronization and instability in coupled oscillator networks", REPOWGEE (Workshop on Resilient Power Grids and Extreme Events), Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany, October 7-9, 2013.
18. \*Hiroshi Kokubu, Detecting Morse Decompositions of the Global Attractor of Regulatory Networks by Time Series Data, IMA Workshop "Topological Structures in Computational Biology" December 9-13, 2013, IMA, U Minnesota
19. \*Hiroshi Kokubu, Analysis of Global Dynamics from Time-series Data: Case Studies, IMA Workshop "Algebraic Topology in Dynamics, Differential Equations, and Experimental Data" February 10-14, 2014, IMA, U Minnesota
20. \*S. Aoi, "Locomotion dynamics and control in humans and animals", RIMS Conference / The 6th CREST-SBM International Conference "New Directions in Applied Dynamical Systems", RIMS, Kyoto University, Japan, 2014/3/10

#### 2014 年度:

21. Hiroshi Kokubu, Detecting Morse decompositions of the global attractor of regulatory networks by time series data, Workshop on Industrial and Applied Mathematics, Mathematical Bioscience Institute, Ohio State University, Columbus, Ohio, U.S.A., 2014/5/15-16.
22. Hiroya Nakao, Phase Reduction Approach to Synchronization of Coupled Oscillator Networks, International Symposium on Photonics and Electronics Science and Engineering 2015, Katsura-Hall, Katsura-Campus, Kyoto University, Kyoto, Japan, March 9, 2015.

② 口頭発表 (国内会議 180 件、国際会議 94 件)

〈国内〉

#### 2009 年度:

1. 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, "動作計測に基づく異なる歩行環境間での運動パターンの解析", 第 10 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 東京, 12 月, 2009.
2. 足立渡, 船戸徹郎, 土屋和雄, "回転床面上におけるヒトのおじぎ動作の解析", 第 10 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 東京, 12 月, 2009.
3. 青木高明, 青柳富誌生, 位相振動子ネットワークの可塑性に基づいた自律的な「群れ」の形

- 状形成, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム(2010/1/30-2010/1/31), 名古屋大学, 2010/01/31
4. 青木高明, 青柳富誌生, 結合強度が変化する位相振動子ネットワークの自己組織化, 電子情報通信学会 非線形問題研究会 (2010/3/09-2010/3/10), 上智大学, 2010/03/10
  5. 田中琢真, 金子武嗣, 青柳富誌生, 発火が疎なモデルによる一次視覚野細胞の選択性の再現, 日本物理学会 第 65 回年次大会 (2010/3/20-2010/3/23), 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/20
  6. 青木高明, 青柳富誌生, 可塑的な結合振動子系における定常状態の分化, 日本物理学会 第 65 回年次大会 (2010/3/20-2010/3/23), 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/20
  7. 今井貴史, 末谷大道, 青柳富誌生, 周期性の強いカオスにおける位相記述の試み, 日本物理学会 第 65 回年次大会 (2010/3/20-2010/3/23), 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/20
  8. 河村洋史, 中尾裕也, 新井賢亮, 郡宏, 蔵本由紀, 大域結合振動子系における集団位相結合関数, 日本物理学会 第 65 回年次大会, 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/20
  9. 中尾裕也, 複雑ネットワークにおけるラプラス固有ベクトルの局在性, 日本物理学会 第 65 回年次大会, 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/20
  10. 神谷友理, 青木高明, 青柳富誌生, 可塑的な神経ネットワークのロバスト性の数理的構造, 日本物理学会 第 65 回年次大会 (2010/3/20-2010/3/23), 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/21
  11. 秦重史, 新井賢亮, 中尾裕也, カオス振動子の確率的な位相縮約と共通ノイズ同期現象, 日本物理学会 第 65 回年次大会, 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/23
  12. 國府寛司, 力学系の位相計算的方法とその応用, 機械工学における力学系理論の応用に関する研究会, 3月 27-29 日, 慶應義塾大学理工学部

#### 2010 年度:

13. 森島智史, 大島裕子, 船戸徹郎, 中階克己, 土屋和雄, 青井伸也: 特異値分解によるニホンザルの二足及び四足歩行の筋電解析, 第 54 回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI'10), 京都市, 2010/5/20.
14. 青柳 富誌生, 動的なネットワーク上のゲームの理論, 京都算学会 第 6 回研究会 (2010/6/5-2010/6/6), ラフォーレ伊東(静岡県), 2010/6/6
15. 秦重史, 新井賢亮, 中尾裕也, リズム素子の揺らぎの効果 を取り入れた確率的な位相記述, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 琉球大学, 2010/6/19, 口頭発表.
16. 國府寛司, 力学系の位相計算的方法とその応用, 公開シンポジウム“統合複雑系科学への招待”, 京都大学理学研究科セミナーハウス, 京都, 2010 年 8 月 5 日
17. 柳原 大. 小脳における活動依存的可塑性と加齢による影響. シンポジウム II 「高齢者の運動と脳機能」第 18 回日本運動生理学会大会. 2010 年 8 月.
18. 佐藤 和, 柳原 大. 歩行中の障害物回避準備動作に関与する神経機構 - 下オリーブ核破壊ラットにおける動作解析からの所見. 日本体育学会第 61 回大会. 2010 年 9 月.
19. 窪田芳之, 荻部冬紀, 野村真樹, Allan T Gullidge, 望月敦史, 川口泰雄, 大脳皮質非錐体細胞の樹状突起の形態と機能特性, 日本神経科学学会 神戸コンベンションセンター, 2010 年 9 月 2 日 (発表者は窪田)
20. 今井貴史, 末谷大道, 青柳富誌生, 周期性の強いカオスにおける位相記述の試み II, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 2010/9/23, 口頭発表.
21. 田中琢真, 青柳富誌生, 三体間相互作用を持つ大域結合位相振動子系, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 2010/9/23, 口頭発表.
22. 中尾裕也, ネットワーク結合力学系の同期と不安定性, 屋久島非線形問題若手ワークショップ～非線形科学と情報通信科学のフロンティア開拓～, 屋久島環境文化研修センター, 2010/9/28, 口頭発表.
23. 太田絵一郎, 青柳富誌生, 揺らぐ刺激を用いた位相応答曲線の実験測定手法, Kagoshima Workshop on Nonlinear & Nonequilibrium Dynamics, 鹿児島大学郡元キャンパス,



- 2010/10/15, 口頭発表.
24. 中尾裕也, ノイズを受けたリミットサイクル振動子の位相記述について, Kagoshima Workshop on Nonlinear & Nonequilibrium Dynamics, 鹿児島大学, 2010/10/15, 口頭発表.
  25. 今井貴史, 末谷大道, 青柳富誌生, カオスの周期性の強さと位相記述可能性の関係, Kagoshima Workshop on Nonlinear & Nonequilibrium Dynamics, 鹿児島大学郡元キャンパス, 2010/10/16, 口頭発表.
  26. 秦重史, 中尾裕也, Gamma インパルスに駆動される非線形振動子の同期現象 - 位相ロックからノイズ同期へ -, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 屋久島環境文化村センター, 2009/11/13
  27. 中尾裕也, ランダム振動子ネットワークにおけるカオスとクラスタリング, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 屋久島環境文化村センター, 2009/11/14
  28. 中尾裕也, Phase reduction approach to traveling pulses in reaction-diffusion systems, 基研研究会「非平衡系の物理-非平衡ゆらぎと集団挙動」, 京都大学基礎物理学研究所, 2010/11/20, 口頭発表.
  29. 三谷大輔, 船戸徹郎, 富田望, 青井伸也, 土屋和雄:直立と繰り返しおじぎ運動の運動学シナジーの共通性の評価, システム・情報部門学術講演会 (SSI2010), 京都市, 2010/11/24.
  30. 太田絵一郎, 青柳富誌生, 揺らぎ刺激の重み付き平均による位相感受性の測定, 統計数理研究所研究会 神経科学と統計科学の対話 (2010/12/19-2010/12/20), 統計数理研究所, 2010/12/20, 口頭発表.
  31. 近藤学宏, 青井伸也, 柳原大, 青木祥, 山浦洋, 荻原直道, 市川朗, 土屋和雄, “ラットの解剖データに基づく後肢筋骨格モデルの構築とキネマティクスデータに基づく後肢歩行シミュレーション”, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム, 名古屋, 1 月, 2010.
  32. 山下剛史, 青井伸也, 市川朗, 土屋和雄, “位相リセットを有する非線形振動子に駆動される 4 脚ロボットの歩容遷移に現れるヒステリシス”, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム, 1 月, 名古屋, 2010.
  33. 青井伸也, 荻原直道, 船戸徹郎, 杉本靖博, 土屋和雄, “ヒトの神経筋骨格モデルに基づく適応的歩行生成における位相リセットの役割の考察”, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム, 名古屋, 1 月, 2010.
  34. 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, “変動に基づくヒトの歩行運動の制御指標の探索”, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム, 名古屋, 1 月, 2010.
  35. 繰生紘史, 船戸徹郎, 土屋和雄, “ヒトの姿勢運動の特異値分解による解析”, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム, 名古屋, 1 月, 2010.
  36. 中尾裕也, 反応拡散系における進行パルスの位相記述と共通ノイズ同期, 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 北海道大学, 2011/1/25.
  37. 近藤学宏, 青井伸也, 柳原大, 青木祥, 山浦洋, 荻原直道, 船戸徹郎, 富田望, 幸田武久, 土屋和雄, “筋シナジーに着目したラットの神経筋骨格モデルに基づく後肢歩行生成”, 第 23 回自律分散システム・シンポジウム, 札幌市・北海道大学, 2011/1/29.
  38. 森嶋智史, 青井伸也, 船戸徹郎, 富田望, 土屋和雄, “4 足動物の数理モデルに基づくウォーク歩容の動力学解析:脚間位相差と重心上下動・脚負荷荷重の関係”, 第 23 回自律分散システム・シンポジウム, 札幌市・北海道大学, 2011/1/29.
  39. 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄, “運動ゆらぎに基づくヒトの歩行のモード制御モデルの検討”, 第 23 回自律分散システム・シンポジウム, 札幌市・北海道大学, 2011/1/29.
  40. 山下剛史, 藤木聡一朗, 青井伸也, 幸田武久, 土屋和雄, “位相リセットを有する非線形振動子を用いた 2 脚ロボットの適応的スプリットベルト・トレッドミル歩行の生成”, 第 23 回自律分散システム・シンポジウム, 札幌市・北海道大学, 2011/1/29.
  41. 増田弘樹, 富田望, 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, “特異値分解によるヒトの歩行・走行運動の時空間パターン解析”, 第 23 回自律分散システム・シンポジウム, 札幌市・北海道大

- 学, 2011/1/30.
42. 中尾裕也, 時空カオスの独立成分分析とスパース表現, 日本応用数理学会 2011 年 研究部会 連合発表会, 電気通信大学, 2011/3/7.
  43. 中尾裕也, 反応拡散系の周期解に対する位相縮約アプローチ, 力学系の応用研究会, 新潟大学 駅南キャンパスときめいと, 2011/3/9.
  44. 細川哲朗, 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄, "床面の並進外乱に対するヒトの歩行運動の位相応答解析", 日本機械学会関西支部第 86 期定時総会講演会, 京都市・京都工繊大学, 2011/3/20.
  45. 繰生紘史, 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄, "ヒトの姿勢運動における関節間シナジーの力学特性解析", 日本機械学会関西支部第 86 期定時総会講演会, 京都市・京都工繊大学, 2011/3/20.
  46. 神谷友理, 青木高明, 青柳富誌生, 位相振動子モデルによる可塑的な神経ネットワークの定常状態の解析, 日本物理学会 第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011/3/25.
  47. 田中琢真, 青柳富誌生, 三体相互作用の位相振動子系に対する影響, 日本物理学会第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011/3/25.
  48. 太田絵一郎, 今井貴史, 青柳富誌生, 揺らぎ刺激による位相感受性の実験測定手法:測定誤差と手法の改良について, 日本物理学会第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011/3/25.
  49. 中尾裕也, 反応拡散系における進行パルスの位相記述と共通ノイズ同期, 日本物理学会第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011/3/25.
  50. 河村洋史, 中尾裕也, 蔵本由紀, 非局所結合位相振動子系における不均一性に誘起された時空カオス, 日本物理学会第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011/3/25.
  51. 秦重史, 中尾裕也, 非線形振動子の共通ノイズ同期現象における最適な位相応答曲線, 日本物理学会第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011/3/25.
  52. 青木高明, 青柳富誌生, ネットワーク上を拡散する資源に依存して形成される Scale-free 構造の解析, 日本物理学会 第 66 回年次大会, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2011/3/26.

#### 2011 年度:

53. 國府寛司. Conley index theory 入門;力学系の大域的構造に対する位相計算的方法. 仙台シンポジウム, 2011 年 8 月 17~19 日
54. 片山泰貴, 青井伸也, 藤木聡一郎, 山下剛史, 幸田武久, 泉田啓, 土屋和雄, "位相リセットを有する非線形振動子に駆動される 4 脚ロボットの歩容遷移に現れるヒステリシスの実験的検証", 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, 東京都江東区・芝浦工業大学, 2011 年 9 月 9 日.
55. 藤木聡一郎, 青井伸也, 山下剛史, 幸田武久, 泉田啓, 土屋和雄, "スプリットベルト・トレッドミルにおける 2 脚ロボットの位相リセットを有する非線形振動子を用いた適応的歩行生成", 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, 東京都江東区・芝浦工業大学, 2011 年 9 月 9 日.
56. 宮路智行, 常微分方程式の Taylor 法による精度保証付き数値計算, 坂上チーム・國府チーム CREST 合同セミナー, 北海道大学理学部, 2011/09/13.
57. 秦重史, 中尾裕也, 「非線形振動子の共通ノイズ同期・脱同期と最適な位相応答曲線」, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011 年 9 月 21 日.
58. 河村洋史, 中尾裕也, 蔵本由紀, 「大域結合興奮性素子系の集団位相感受性」, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学, 2011 年 9 月 23 日.
59. 藤井俊彦, 青柳富誌生, 最適同期ネットワークにおけるトポロジーとウェイトの関係, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学五福キャンパス, 2011/9/23
60. 青木高明, 青柳富誌生, ネットワーク結合変化と拡散による状態変化との相互作用が生み出すスケールフリー性, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学五福キャンパス, 2011/9/23.
61. 今井貴史, 太田絵一郎, 末谷大道, 複数周期 WSTA 法での位相応答曲線計測に対する理

- 論的考察,青柳富誌生,日本物理学会 2011 年秋季大会,富山大学五福キャンパス, 2011/9/23.
62. 生川亮太, 筒広樹, 青柳富誌生, 相手か戦略のどちらを変えるか, その多様性が協力を促進する, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 富山大学五福キャンパス, 2011/9/23.
  63. 森田英俊, 大自由度 Hamilton 系における巨視的時空パターン, 日本物理学会, 富山大学, 2011/9/29
  64. 今井貴史, 末谷大道, 青柳富誌生, 位相記述可能性の観点で見た周期性の強いカオスの特徴, 第 72 回 形の科学シンポジウム, 鹿児島大学郡元キャンパス, 2011/12/10.
  65. 茶碗谷 毅, 伊賀 志朗, 伊庭 幸人, 青柳 富誌生, 振動子の最適同期をもたらすネットワークの形, 第 72 回 形の科学シンポジウム, 鹿児島大学郡元キャンパス, 2011/12/10.
  66. 青井伸也, 船戸徹郎, 富田望, 土屋和雄, "ヒト歩行運動に内在する低次元構造とそのシステムモデル", 第 12 回システムインテグレーション部門講演会(SI2011), 京都市・京都大学, 2011 年 12 月 23 日.
  67. 宮路智行, Taylor model 法による常微分方程式の初期値問題の解の検証理論について, GCOE tea time, 京都大学数理解析研究所, 2011/12/27.
  68. 藤木聡一郎, 青井伸也, 幸田武久, 泉田啓, 土屋和雄, "位相リセットを有する非線形振動子に駆動される 6 脚ロボットの歩容遷移に現れるヒステリシス", 第 24 回自律分散システム・シンポジウム, 神戸市・神戸ファッションマート・コンベンションルーム, 2012 年 1 月 27 日.
  69. 片山泰貴, 青井伸也, 藤木聡一郎, 山下剛史, 幸田武久, 泉田啓, 土屋和雄, "位相リセットを有する非線形振動子に駆動される 4 脚ロボットの歩容遷移に現れるヒステリシスを生成する安定構造", 第 24 回自律分散システム・シンポジウム, 神戸市・神戸ファッションマート・コンベンションルーム, 2012 年 1 月 27 日.
  70. 林直宏, 青井伸也, 近藤学宏, 柳原大, 青木祥, 山浦洋, 荻原直道, 船戸徹郎, 富田望, 泉田啓, 土屋和雄, "ラットの神経筋骨格モデルに基づく後肢障害物回避歩行", 第 24 回自律分散システム・シンポジウム, 神戸市・神戸ファッションマート・コンベンションルーム, 2012 年 1 月 27 日.
  71. 森嶋智史, 青井伸也, 船戸徹郎, 富田望, 土屋和雄, "4 足動物の共振特性に基づく歩容遷移モデル", 第 24 回自律分散システム・シンポジウム, 神戸市・神戸ファッションマート・コンベンションルーム, 2012 年 1 月 27 日.
  72. 山本雄基, 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄, "ヒトの歩行運動の関節間協調における位相応答の解析", 第 24 回自律分散システム・シンポジウム, 神戸市・神戸ファッションマート・コンベンションルーム, 2012 年 1 月 28 日.
  73. 勝部晃将, 上江洲佑典, 富田望, 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, "ヒト歩行・走行運動の歩容遷移速度近傍における EMG 解析", 第 24 回自律分散システム・シンポジウム, 神戸市・神戸ファッションマート・コンベンションルーム, 2012 年 1 月 28 日.
  74. 大島裕子, 中隼克己, 青井伸也, 船戸徹郎, 富田望, 土屋和雄, "ニホンザル歩行時の筋電と運動の解析", 第 24 回自律分散システム・シンポジウム, 神戸市・神戸ファッションマート・コンベンションルーム, 2012 年 1 月 28 日.
  75. 太田絵一郎, 田中琢真, 青柳富誌生, 三体間相互作用を持つ振動子連想記憶モデルにおける複数の連続アトラクタ, 日本物理学会第 67 回年次大会, 関西学院大学 西宮上ヶ原キャンパス, 2012/3/25.
  76. 青木高明, 青柳富誌生, 結合力学系に基づくネットワーク構造形成過程の解明, 日本物理学会 第 67 回年次大会, 関西学院大学 西宮上ヶ原キャンパス, 2012/3/26.
  77. 河村洋史, 中尾裕也, 「振動対流の位相感受性」, 日本物理学会第 67 回年次大会, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス, 2012 年 3 月 27 日.

#### 2012 年度:

78. 上田肇一, 真正粘菌変形体の環境適応行動に対する数理モデル, 日本数学会年会, 東京理科大学, 2012 年 4 月 29 日

79. 青柳富誌生, リズムとネットワークの数理 -自然現象から生命・社会現象まで-, シンポジウム: 複雑系科学の最前線 -理論から社会に役立つ応用まで-, 京都大学工学部, 2012/6/2.
80. 青柳富誌生, 3 体相互作用の神経系における役割, 京都算学会 第 8 回研究会, コミュニティ-嵯峨野(京都), 2012/6/23.
81. Ipei Obayashi, Computation and Dynamical Systems theory, WPI-AIMR Seminar, Tohoku University, August 20, 2012.
82. 早川隆, 金子武嗣, 青柳富誌生, リカレントネットワーク上の学習アルゴリズムのためのスパース条件についての考察: リカレントインフォマックスを例として, 日本神経回路学会 第 22 回全国大会, 名古屋工業大学, 2012/9/13.
83. 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄: 運動学シナジーに基づくヒト歩行制御系の力学解析, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 札幌コンベンションセンター, 2012 年 9 月 18 日.
84. 秦重史, 中尾裕也, Alexander S. Mikhailov, 「複雑ネットワーク上におけるチューリングパターンへのフィードバック制御」, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学, 2012/9/20.
85. 森田英俊, 國府寛司「確率的時系列の Conley-Morse グラフの方法による解析」日本物理学会(口頭発表) 9/20/2012
86. 河村洋史, 中尾裕也, 「振動対流の共通ノイズ同期」, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜国立大学. 2012/9/21.
87. 太田絵一郎, 田中琢真, 青柳富誌生, 三体相互作用を持つ位相振動子ネットワークに生じる複数の「連続的」なアトラクタについて, 力学系の作る集団ダイナミクス - 保存系・散逸系の枠組みを越えて -, 京都大学数理解析研究所, 2012/9/27.
88. 橋詰幸治, 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄: ヒトの直立姿勢動揺の非線形 PID 制御モデルの提案, システム・情報部門学術講演会(SSI2012), 名古屋市・ウイールあいち 愛知県女性総合センター, 2012 年 11 月 22 日.
89. 勝部晃将, 富田望, 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄: ヒト歩容遷移時における EMG 解析, 第 13 回システムインテグレーション部門講演会(SI2012), 福岡国際会議場, 2012 年 12 月 19 日.
90. 藤原直, 船戸徹郎, 富田望, 青井伸也, 土屋和雄: バネ付き床を用いたヒトの走行運動の調整機構の解析, 第 13 回システムインテグレーション部門講演会(SI2012), 福岡国際会議場, 2012 年 12 月 19 日.
91. 山本雄基, 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄: WSTA 法を用いたヒトの歩行運動の位相応答曲線の導出, 第 13 回システムインテグレーション部門講演会(SI2012), 福岡国際会議場, 2012 年 12 月 19 日.
92. 橋詰幸治, 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄: 非線形 PID 制御によるヒト直立姿勢動揺モデルの解析, 第 25 回自律分散システム・シンポジウム, 仙台市・東北大学 片平さくらホール, 2013 年 1 月 25 日.
93. 藤木聡一郎, 青井伸也, 泉田啓, 土屋和雄: 左右分離型トレッドミルにおける肢間協調制御を用いた 2 脚ロボットの適応的歩行生成, 第 25 回自律分散システム・シンポジウム, 仙台市・東北大学 片平さくらホール, 2013 年 1 月 25 日.
94. 森田英俊, 大自由度 Hamilton 系におけるクライシス, 日本物理学会, 広島大学東広島キャンパス, 2013 年 3 月
95. 中尾裕也, 「反応拡散系の時間周期ダイナミクスの位相記述」, 第 13 回計測自動制御学会制御部門大会, アクロス福岡, 2012/3/8.
96. 白坂将, 紅林亘, 中尾裕也, 「ハイブリッドシステムにおけるリミットサイクル振動子に対する位相縮約法とその応用」, 電子情報通信学会 非線形問題研究会(NLP), 電子情報通信学会 千葉大学, 2013/3/14.
97. 風間正弘, 蓑島勇太, 紅林亘, 中尾裕也, 「環境データを用いた非線形振動子の共通ノイズ同期現象の解析」, 電子情報通信学会 非線形問題研究会(NLP), 千葉大学, 2013/3/15.

98. 紅林亘, 白坂将, 中尾裕也, 「強い摂動を受けるリミットサイクル振動子への位相縮約法の拡張とその応用」, 電子情報通信学会 非線形問題研究会(NLP), 千葉大学, 2013/3/15.
99. 太田絵一郎, 青柳富誌生, 縮約力学系としての位相振動子ネットワークを時系列データから統計的に推定する手法, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学 東広島キャンパス, 2013/3/27.
100. 寺田裕, 青柳富誌生, 自然振動数分布が異なる複数振動子集団のダイナミクス, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学東広島キャンパス, 2013/3/27.
101. 八幡晃一郎, 青木高明, 青柳富誌生, 動的なネットワーク上の反応拡散系におけるマイクロな非定常性, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学東広島キャンパス, 2013/3/27.
102. 今井貴史, 太田絵一郎, 末谷大道, 青柳富誌生, 位相感受性の実験計測によるカオスの位相記述, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学東広島キャンパス, 2013/3/27.
103. 中尾裕也, 柳田達雄, 河村洋史, 反応拡散系の時間周期パターンの位相記述とその応用, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学東広島キャンパス, 2013/3/27.
104. 河村洋史, 中尾裕也, 振動対流の位相記述, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学東広島キャンパス, 2013/3/27.
105. 秦重史, 中尾裕也, Alexander S. Mikhailov, 複雑ネットワーク上における振動性チューリングパターン, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学東広島キャンパス, 2013/3/27.
106. 紅林亘, 白坂将, 中尾裕也, 動的な位相縮約法の提案, 日本物理学会 第 68 回年次大会, 広島大学東広島キャンパス, 2013/3/29.
107. 早川隆, 金子武嗣, 青柳富誌生, リカレント結合ニューロン系の確率ダイナミクスにおいて局所的学習を可能にする条件について, 日本物理学会 第68回年次大会, 広島大学東広島キャンパス, 2013/3/29.

#### 2013 年度:

108. 紅林 亘, 藤原寛太郎, 中尾裕也, 池口徹, 「位相縮約法によるカオス振動子のノイズ同期現象の解析」, 電子情報通信学会 非線形問題研究会(NLP), 福岡大学, 2013 年 5 月 27-28 日.
109. 太田絵一郎, 振動的時系列データに基づく位相モデルの統計推定と集団同期解析, 2013 年度 第 1 回 電子情報通信学会 複雑コミュニケーションサイエンス (CCS) 時限研究会 (2013/6/3-2013/6/4), 立命館大学 びわこくさつキャンパス, 2013/6/4.
110. 國府寛司, "ダイナミクス全構造計算による力学系の相空間構造解析の方法とその応用", 第 1 回ダイナミクス研究会中野, 明治大学中野キャンパス 6階 研究セミナー室3, 2013 年 7 月 17 日
111. 安井祥, 紅林亘, 中尾裕也, 「エネルギー散逸を考慮した多関節ロボットの数理モデルにおける自励周期運動の生成とその制御」, Dynamics and Design Conference (D&D), 九州産業大学, 2013 年 8 月 9-10 日.
112. 紅林亘, 白坂将, 中尾裕也, 「自励振動子の強い周期外力による同期現象の解析」, 電子情報通信学会 複雑コミュニケーションサイエンス研究会(CCS), しんしのつ温泉たっふの湯, 2013 年 8 月 9-10 日.
113. 白坂将, 紅林亘, 中尾裕也, 「ハイブリッドシステムにおける自励振動子にみられる同期現象の解析」, 電子情報通信学会 複雑コミュニケーションサイエンス研究会(CCS), しんしのつ温泉たっふの湯, 2013 年 8 月 9-10 日.
114. 安井祥, 紅林亘, 中尾裕也, 「エネルギー散逸を考慮した多関節ロボットの数理モデルにおける自励周期運動の生成と周期外力による同期現象」, 電子情報通信学会 複雑コミュニケーションサイエンス研究会(CCS), しんしのつ温泉たっふの湯, 2013 年 8 月 9-10 日.
115. 紅林亘, 白坂将, 中尾裕也, 「自励振動子の強い周期外力による同期現象の理論的な解析」, Dynamics and Design Conference (D&D), 九州産業大学, 2013 年 8 月 26-30 日.
116. 白坂将, 紅林亘, 中尾裕也, 「ハイブリッド自励振動子の同期ダイナミクスの位相縮約法による解析及びその応用」, Dynamics and Design Conference (D&D), 九州産業大学, 2013

年 8 月 26-30 日.

117. 船戸徹郎, 山本雄基, 青井伸也, 富田望, 今井貴史, 青柳富誌生, 土屋和雄, “WSTA 法によるヒト歩行リズムの位相応答曲線の推定”, 第 31 回日本ロボット学会学術講演会, 首都大学東京 南大沢キャンパス, 2013/9/4
118. 少数自由度結合振動子系におけるカオス性と結合パターンの関係, 寺田裕, 青柳富誌生, 日本物理学会 第 69 回秋季大会 (2014/9/7-2014/9/10), 中部大学春日井キャンパス, 2014/9/9, 口頭発表.
119. 太田絵一郎, 青柳富誌生, リズム相互作用系のモデル化のためのベイズ統計手法, 第 23 回日本数理生物学会大会 (2013/9/11-2013/9/13), 静岡大学 浜松キャンパス, 2013/9/11.
120. 青木高明, 八幡晃一郎, 青柳富誌生, ネットワーク上のリソース分布と構造との相互作用系における平衡状態の解析, 第 23 回日本数理生物学会大会 (2013/9/11-2013/9/13), 静岡大学 浜松キャンパス, 2013/9/12.
121. S. Aoi, N. Tomita, T. Funato, and K. Tsuchiya, “Evaluation of physiological hypothesis of motor control in human walking and running using a neuromusculoskeletal model”, ライフエンジニアリング部門シンポジウム, 慶応義塾大学 日吉キャンパス, 2013/9/12
122. 河村洋史, 中尾裕也, 「振動対流の共通ノイズ同期」, 日本流体力学会年会 2013, 東京農工大学, 2013 年 9 月. [9/12-14]
123. 瀬戸川将, 山浦洋, 遠藤昌吾, 柳原大, “アルツハイマー病による障害物回避歩行時の身体情報に関わる作業記憶の障害”, 第 68 回日本体力医学会大会, 東京, 2013/9/21
124. 青木祥, 佐藤和, 柳原大, “ラットの平面歩行運動における小脳皮質中間部の薬理学的不活化の影響”, 第 68 回日本体力医学会大会, 東京, 2013/9/21
125. 佐藤和, 柳原大, “平面歩行における下オリーブ核 - 登上線維系破棄の影響. 第 68 回日本体力医学会大会”, 東京, 2013/9/21
126. 秦重史, 中尾裕也, Alexander S. Mikhailov, 「振動性チューリング不安定化が起こるための十分条件」, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学, 2013 年 9 月 20-23 日.
127. 白坂将, 紅林亘, 中尾裕也, 「ハイブリッド力学系における位相縮約理論について」, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学, 2013 年 9 月 20-23 日.
128. 紅林亘, 白坂将, 中尾裕也, 「強く結合したリミットサイクル振動子の位相縮約法による解析」, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 徳島大学, 2013 年 9 月 20-23 日.
129. 太田絵一郎, 青柳富誌生, 観測時系列データに基づく振動子ネットワーク縮約モデルの統計推定手法: 振動子数の判定について, 日本物理学会 2013 年秋季大会 (2013/9/25-2013/9/28), 徳島大学 常三島キャンパス, 2013/9/25.
130. 早川隆, 青柳富誌生, 伊庭幸人, 時間平均カーネルを用いた力学系のモード解析, 日本物理学会 2013 年秋季大会 (2013/9/25-2013/9/28), 徳島大学 常三島キャンパス, 2013/9/28.
131. 國府寛司 "遺伝子ネットワークの新しい捉え方 (2) Fiedler-望月による FVS 理論", "遺伝子ネットワークの力学系理論", RIMS 共同研究「力学系・トポロジーの生命科学・物質科学への応用」, アクティブプラザ琵琶, 2013 年 11 月 25 日~28 日
132. 瀬戸川将, 山浦洋, 遠藤昌吾, 柳原大, “アルツハイマー病による作業記憶の障害が障害物回避歩行時に及ぼす影響”, 第 11 回日本ワーキングメモリ学会大会, 京都, 2013/11/30
133. 大林一平 青井伸也 土屋和雄 國府 寛司, "受動歩行モデルのサドルと吸引領域の幾何的形狀", 第 14 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 SI2013, 神戸国際会議場, 2013/12/18
134. 大林一平 青井伸也 土屋和雄 國府 寛司, "シンプルな二足歩行モデルにおける, 系の双曲性とハイブリッド性による吸引領域の形成", 2013 年度応用数学合同研究集会 CAM2013, 龍谷大学, 2013/12/21
135. 森田英俊, 稲津将, 國府寛司, "Application of a topological-computation method to meteorological data," 応用数学合同研究集会, 龍谷大学瀬田キャンパス(大津市), 2013

年 12 月 21 日.

136. 寺田裕, 青柳富誌生, 異なる自然振動数分布を持つ複数位相振動子集団のダイナミクスについて, 非線形問題研究会 (2014/1/21-2014/1/22), ニセコパークホテル, 2014 年 1 月 22 日.
137. 紅林 亘, 白坂 将, 中尾裕也, 「強く結合した非線形振動子の相互同期現象の理論的な解析」, 電子情報通信学会 非線形問題研究会(NLP), ニセコパークホテル, 2014/1/21-22.
138. 養島勇太, 中尾裕也, 「局所情報に基づいた最適速度関数の更新による車両制御」, 電子情報通信学会 非線形問題研究会(NLP), ニセコパークホテル, 2014/1/21-22.
139. 石井 翼, 紅林 亘, 中尾裕也, 「所与の周期軌道と位相応答特性を持つ振動子の設計」, 電子情報通信学会 非線形問題研究会(NLP), ニセコパークホテル, 2014/1/21-22.
140. 白坂 将, 紅林 亘, 中尾裕也, 「ハイブリッド力学系におけるリミットサイクル振動子結合系の位相縮約法による解析」, 電子情報通信学会 非線形問題研究会(NLP), ニセコパークホテル, 2014/1/21-22.
141. 土屋和雄, “自律分散システム論としての「移動知」研究”, 第 26 回自律分散システム・シンポジウム ワークショップ, 東京大学 山上会館, 2014/1/24
142. 藤木聡一郎, 青井伸也, 柳原大, 船戸徹郎, 富田望, 荻原直道, 泉田啓, 土屋和雄, “ラットの神経筋骨格モデルに基づく後肢スプリットベルト・トレッドミル歩行”, 第 26 回自律分散システム・シンポジウム, 東京大学 山上会館, 2014/1/24
143. 藤原直, 石塚駿太郎, 青井伸也, 船戸徹郎, 大島裕子, 富田望, 辻内伸好, 小泉孝之, 土屋和雄, “数理モデルと運動計測データに基づくヒトの走行における脚剛性の推定”, 第 26 回自律分散システム・シンポジウム, 東京大学 山上会館, 2014/1/24
144. 富田望, 勝部晃将, 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, “ヒトの自然歩容遷移時における筋電位解析”, 第 26 回自律分散システム・シンポジウム, 東京大学 山上会館, 2014/1/24
145. 大林一平, “計算ホモロジーと力学系”, CREST「数学」領域横断若手合宿, 休暇村指宿, 2014/01/31
146. 大林一平, “計算ホモロジー, 力学系, Conley-Morse graph”, ミニワークショップ「機械学習×力学系」, 東京大学, 2014/02/27
147. 紅林 亘, 中尾裕也, 「カオス振動子における位相の定義について」, 電子情報通信学会 非線形問題研究会(NLP), 上智大学四ツ谷キャンパス, 2014/3/10-11.
148. Hidetoshi Morita, Masaru Inatsu, and Hiroshi Kokubu, "Application of a topological-computation method to meteorological data," 力学系理論の諸分野への応用の新展開, 京都大学数理解析研究所(京都市), 2014 年 3 月 13 日.
149. 早川隆, 金子武嗣, 青柳富誌生, 熱力学的不等式から導かれる情報量最大化学習およびその生物学の実装, 神経科学と統計科学の対話 4 (2014/3/17-2014/3/19), 統計数理研究所, 2014 年 3 月 18 日.
150. 紅林 亘, 中尾裕也, 「ノイズに誘起される同期パターンへの設計・制御法」, 電子情報通信学会 2014 年総合大会, 新潟大学, 2014/3/18-21.
151. 早川隆, 金子武嗣, 青柳富誌生, Actor-Critic モデルにおける情報量最大化学習とその生物学の実装, 日本物理学会第 69 回年次大会 (2014/3/27-2014/3/30), 東海大学 湘南キャンパス, 2014 年 3 月 27 日, 口頭発表.
152. 森田英俊, 稲津将, 國府寛司, 「Conley-Morse グラフの方法による気象ダイナミクスの時系列データ解析」, 日本物理学会, 東海大学湘南キャンパス(平塚市), 2014 年 3 月 28 日.
153. 小川駿, Julien Barre, 森田英俊, 山口義幸, 「二次元完全流体における非線形ランダウ減衰とパターン形成」, 日本物理学会, 東海大学湘南キャンパス(平塚市), 2014 年 3 月 28 日.
154. 寺田裕, 青柳富誌生, カオスを実現する振動子ネットワークの探索, 日本物理学会第 69 回年次大会 (2014/3/27-2014/3/30), 東海大学 湘南キャンパス, 2014 年 3 月 29 日.
155. 紅林 亘, 中尾裕也, 「カオス振動子の位相縮約について」, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 東海大学湘南キャンパス, 2014/3/29 (27-30).

156. 石井 翼, 紅林 亘, 中尾裕也, 「与えられた周期軌道と位相応答特性を持つ非線形振動子のデザイン」, 日本物理学会 第 69 回年次大会, 東海大学湘南キャンパス, 2014/3/29.

**2014 年度:**

157. 河村 洋史, 中尾 裕也, 「振動対流の共通ノイズ同期とその最適化」, 電子情報通信学会 複雑コミュニケーションサイエンス時限研究会(CCS), 大阪大学吹田キャンパス理工学図書館ホール, 2014/5/19-20.
158. 白坂将, 紅林亘, 中尾裕也, “E 級発振器結合系における相互同期現象の位相縮約理論による解析, 第 3 回 NetSci-CCS 合同ワークショップ, 丸駒温泉(北海道), 2014 年 8 月 7 日-8 日.
159. 紅林亘, 白坂将, 中尾裕也, “非線形モード分解によるネットワーク力学系のシステム同定”, 第 3 回 NetSci-CCS 合同ワークショップ, 丸駒温泉(北海道), 2014 年 8 月 7 日-8 日.
160. 戸丸洋輔, 白坂将, 紅林亘, 中尾裕也, “格子ボルツマン法によるカルマン渦列の非線形振動解析”, 第 3 回 NetSci-CCS 合同ワークショップ, 丸駒温泉(北海道), 2014 年 8 月 7 日-8 日.
161. 紅林亘, 白坂将, 中尾裕也, “強く連成する自励振動系の系統的低次元化法”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference(D&D), 上智大学, 2014 年 8 月 26 日-29 日.
162. 白坂将, 紅林亘, 中尾裕也, “Dynamic mode decomposition による大自由度非線形振動解析”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference(D&D), 上智大学, 2014 年 8 月 26 日-29 日.
163. 河村洋史, 中尾裕也, “振動子ネットワークの共通ノイズ同期とその最適化”, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 中部大学春日井キャンパス, 2014 年 9 月 7 日-10 日.
164. 河村洋史, 中尾裕也, “空間並進自由度を持つ振動対流の位相記述”, 日本流体力学会 年会 2014, 東北大学, 2014 年 9 月 15-17 日.
165. 大林一平, 青井伸也, 土屋和雄, 國府 寛司, サドルによる歩行モデルの吸引領域の形成について, 2014 年度応用数学合同研究集会, 龍谷大学瀬田学舎, 2014 年 12 月 18 日.
166. 岡宏枝, 遺伝子ネットワーク時系列データによるグローバル・アトラクタのモース分解について, 2014 年度力学系冬の研究集会, 日本大学軽井沢研修所, 2015 年 1 月 10 日.
167. 大林一平, 二足歩行モデルの吸引領域の形成について, 2014 年度力学系冬の研究集会, 日本大学軽井沢研修所, 2015 年 1 月 10 日.
168. 大林一平, Formation mechanism of basin of attraction for simple bipedal walking models, 日本数学会年会, 明治大学駿河台キャンパス, 2015 年 3 月 24 日.
169. 中尾裕也, “非線形振動現象の位相縮約とその周辺”, 香川非線形研究会 2015, 香川大学幸町北キャンパス, 2015 年 3 月 3 日-4 日.
170. 秦重史, 中尾裕也, Alexander S. Mikhailov, “複雑ネットワーク上における移流方程式”, 日本物理学会第 70 回年次大会, 早稲田大学, 2015 年 3 月 24 日.
171. 戸丸洋輔, 白坂将, 紅林亘, 中尾裕也, “格子ボルツマン法によるカルマン渦列の位相応答特性の数値計算”, 日本物理学会第 70 回年次大会, 早稲田大学, 2015 年 3 月 22 日.
172. 紅林亘, 白坂将, 中尾裕也, “二次の位相方程式による注入同期現象の解析”, 日本物理学会第 70 回年次大会, 早稲田大学, 2015 年 3 月 22 日.
173. 小野島隆之, 水原啓暁, 青柳富誌生, “脳波データからリズム間相互作用を推定する”, 日本物理学会第 70 回年次大会, 早稲田大学, 2015 年 3 月 21 日.
174. 早川隆, 青柳富誌生, “一般化ゆらぎの定理に基づく神経系の学習理論”, 日本物理学会第 70 回年次大会, 早稲田大学, 2015 年 3 月 21 日.
175. 寺田裕, 青柳富誌生, “カオスを示す最小自由度の結合力学系のネットワークの特徴”, 日本物理学会第 70 回年次大会, 早稲田大学, 2015 年 3 月 22 日.
176. 田中隆浩, 青井伸也, 藤木聡一郎, 舩戸徹郎, 泉田啓, 土屋和雄: 多脚ロボットの直線歩行不安定性と旋回機動性の関係の実験的考察, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学 森戸記念館, 2015/1/22.



177. 佐藤陽太, 船戸徹郎, 柳原大, 佐藤和, 青井伸也, 藤木聡一郎, 中野和司, 土屋和雄: 神経疾患に伴う姿勢制御系の変容解明のためのラットの直立実験環境の構築, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学 森戸記念館, 2015/1/23.
178. 石塚駿太郎, 大島裕子, 青井伸也, 船戸徹郎, 富田望, 辻内伸好, 伊藤彰人, 土屋和雄: 歩行・走行の関節運動に内在する低次元構造の解析, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学 森戸記念館, 2015/1/23.
179. 戸枝美咲, 青井伸也, 船戸徹郎, 土屋和雄, 柳原大: 筋シナジーの制御によるラット四脚神経筋骨格モデルの歩容生成とエネルギー効率の考察, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学 森戸記念館, 2015/1/23.
180. 藤木聡一郎, 青井伸也, 柳原大, 船戸徹郎, 佐藤陽太, 泉田啓, 土屋和雄: ラット後肢スプリットベルト・トレッドミル歩行の計測と解析, 第 27 回自律分散システム・シンポジウム, 東京理科大学 森戸記念館, 2015/1/23.

〈国際〉

**2009 年度:**

1. Yoshiyuki Kubota, Fuyuki Karube, Masaki Nomura, Toshio Aoyagi, Yasuo Kawaguchi, DENDRITIC MORPHOLOGY AND SIGNAL CONDUCTION PROPERTY OF CORTICAL NONPYRAMIDAL CELLS, The 36th Congress of the International Union of Physiological Sciences, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan, 2009/7/29, oral
2. Hiroya Nakao, Self-organization of non-uniform dynamical patterns in complex networks of diffusively coupled oscillators, Dynamics Days 2010, Evanston (Illinois), USA, January 4-7, 2010
3. Ken Nakae, Yukito Iba, Tomoki Fukai, Yasuhiro Tsubo, Toshio Aoyagi, Bayesian estimation of phase response curves, Joint Conference on Statistics and Probability (2010/1/21-22), Indian Statistical Institute, Kolkata, India, 2010/1/22
4. Hiroya Nakao, Self-organization of non-uniform dynamical patterns in complex networks of diffusively coupled oscillators, Workshop: Fluctuation and noise in living organisms II, RIKEN (Wako), Japan, February 2, 2010

**2010 年度:**

5. Hiroshi Kokubu, "Introduction to Dynamical Systems" and "Dynamics of Hebbian Models of Associative Memory", Workshop "Computational Homology and Dynamics", University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, August 13-15, 2010
6. S. Aoi, N. Ogihara, and K. Tsuchiya, "System biomechanics: Exploration of principal mechanism for adaptive locomotion", SICE Annual Conference 2010 (SICE2010), Workshop, Taipei, Taiwan, 2010/8/18.
7. T. Yamashita, S. Aoi, A. Ichikawa, and K. Tsuchiya, "Emergence of hysteresis in gait transition by changing walking speed of an oscillator-driven quadruped robot", SICE Annual Conference 2010 (SICE2010), Taipei, Taiwan, 2010/8/20.
8. T. Kondo, S. Aoi, D. Yanagihara, S. Aoki, H. Yamaura, N. Ogihara, A. Ichikawa, and K. Tsuchiya, "Development of a musculoskeletal model of the hind legs of the rat based on anatomical data and generation of locomotion based on kinematic data", SICE Annual Conference 2010 (SICE2010), Taipei, Taiwan, 2010/8/20.
9. Takaaki Aoki and Toshio Aoyagi, Self-organized behaviors in an adaptive network of movable oscillators, 2010 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (2010/09/05 - 2010/09/08), Krakow, Poland, 2010/09/07, oral.
10. Hiroya Nakao, Localization of Laplacian eigenvectors on complex networks, Dynamics Days Europe 2010, University of Bristol, UK, 6-10 September 2010, 2010/9/7, oral.

11. S. Aoi, T. Yamashita, A. Ichikawa, and K. Tsuchiya, "Hysteresis in gait transition induced by changing waist joint stiffness of a quadruped robot driven by nonlinear oscillators with phase resetting", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2010), Taipei, Taiwan, 2010/10/19.
12. Hiroya Nakao, Phase reduction approach to traveling pulses in reaction-diffusion systems, Japan-Slovenia Seminar on Nonlinear Science (Kansai 2010), Osaka Prefecture University, 2010/11/8, oral.

**2011 年度:**

13. Shigefumi Hata and Hiroya Nakao, "Optimal phase response curve for synchronization of limit-cycle oscillators", SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird Ski and Summer Resort, USA, 2011 年 5 月 22-26 日.
14. Hiroya Nakao and Yoji Kawamura, "Collective phase response of macroscopic rhythms in coupled oscillator ensembles", SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird Ski and Summer Resort, USA, 2011 年 5 月 22-26 日.
15. Hiroshi Kokubu, Application of topological computation method for global dynamics of an associative memory model of the Hopfield type, East Asia SIAM 2011, Waseda University Kitakyushu Campus, Japan, June 27-29, 2011
16. Hiroshi Kokubu, Computational Analysis of global dynamics and bifurcations, Mini-Symposium "Computational Approach to Global Dynamics", International Congress for Industrial and Applied Mathematics, Vancouver, Canada, July 18-22, 2011
17. Hidetoshi Morita, Non-'equilibrium' oscillations in two-dimensional Euler equations, RIMS Camp-style Seminar: Modern approach and developments to Onsager's theory on statistical vortices, Apical Inn Kyoto, 2011/8/29
18. Hiroshi Kokubu, Graph-based topological computation method for global analysis of dynamics and its application to time series analysis, Workshop on Applied Topology, Hakata, Japan, August 30-September 2, 2011.
19. Shigefumi Hata and H. Nakao, "Optimal phase response curves for stochastic synchronization of limit-cycle oscillators by common Poisson noise", NOLTA2011, Kobe Industrial Promotion Center, Japan, 2011 年 9 月 5 日.
20. Takaaki Aoki, Yuri Kamitani and Toshio Aoyagi, Self-organizing network of coupled neural oscillators with synaptic plasticity, Proc. of 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2011), 2011/9/6.
21. Hidetoshi Morita, Collective non-stationary flow in two-dimensional fluid, Oldenburg, Germany, 2011/9/13
22. S. Aoi, S. Fujiki, T. Yamashita, T. Kohda, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Generation of adaptive splitbelt treadmill walking by a biped robot using nonlinear oscillators with phase resetting", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), San Francisco, CA, USA, 2011 年 9 月 28 日.
23. S. Aoi, S. Fujiki, D. Katayama, T. Yamashita, T. Kohda, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Experimental verification of hysteresis in gait transition of a quadruped robot driven by nonlinear oscillators with phase resetting", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), San Francisco, CA, USA, 2011 年 9 月 28 日.
24. T. Funato, T. Hosokawa, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Isochron of human walking derived from the perturbation of floor", 5th Internal Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines (AMAM2011), Awaji, Japan, 2011 年 10 月 12 日.
25. Hiroya Nakao, "Phase Description of Periodic Solutions in Reaction-diffusion Systems", IUTAM Symposium on 50 Years of Chaos: Applied and Theoretical, Kyoto University, Japan, 2011 年 12 月 2 日.

26. Ippei Obayashi, Computing recurrent sets from time series data using SCC algorithm, Workshop on Applied Dynamical Systems, Kyoto University, Kyoto, 2011/12/3
27. Masaki Nomura, Practical application of the cmgraph method in using real data, Workshop on Applied Dynamical Systems, Kyoto University, Kyoto, 2011/12/3
28. Takashi Hayakawa, Takeshi Kaneko, Yukito Iba and Toshio Aoyagi, Exploration for cortical dynamics with Monte Carlo sampling of learning rules, The Proceedings of the 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society, 2011/12/16.
29. Kaiichiro Ota, Takuma Tanaka, and Toshio Aoyagi, Emergence of multiple continuous attractors in coupled neuronal oscillators by inclusion of three-body interactions, The Proceedings of the 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society, 2011/12/16.
30. T. Funato, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Human gait control suggested by the evaluation of the fluctuation of synergy", IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2011), Kyoto, Japan, 2011年12月21日.
31. Hiroshi Kokubu, Time series analysis using topological computation method: a preliminary report, ICMC Summer Meeting on Differential Equations, Sao Carlos, Brazil, February 6-8, 2012
32. Tomoyuki Miyaji, Some remarks about Taylor model computations, III Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project, Hotel da Praia, Florianopolis, Brazil, 2012/02/10.
33. Hidetoshi Morita, Collective motion in some conservative systems, ESF-JSPS Frontier Science Conference Series for Young Researchers Mathematics for Innovation: Large and Complex Systems, Tokyo, Japan, 2012/3/2
34. Hiroshi Kokubu, Analysis of dynamical systems using the Conley-Morse graph method, IV Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project, Kauai Beach Resort, Kauai, Hawaii, U.S.A., March 18-22, 2012
35. Ippei Obayashi, Time series analysis based on the idea of CMgraphs, IV Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project, Kauai Beach Resort, Kauai, Hawaii, U.S.A., 2012/3/20
36. Hidetoshi Morita, An application of Conley-Morse graph to meteorological data, IV Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project, Kauai Beach Resort, Kauai, Hawaii, U.S.A., 2012/3/20
37. Kei-ichi Ueda, Mathematical Model for Contemplative Amoeboid Locomotion, 7th International Conference on Industrial and Applied Mathematics, Vancouver, Canada, July 18, 2011.
38. Masaki Nomura, Practical application of cmgraph method in using bipedal locomotion data, IV Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project, Kauai Beach Resort, Kauai, Hawaii, U.S.A., 2012/3/20
39. Zin Arai, Hyperbolicity by computation, IV Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project, Kauai Beach Resort, Kauai, Hawaii, U.S.A., 2012/3/20
40. Hiroe Oka, Topological crisis bifurcation, IV Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project, Kauai Beach Resort, Kauai, Hawaii, U.S.A., 2012/3/20
41. Tomoyuki Miyaji, An application of Taylor models to analysis of ordinary differential equations, IV Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project, Kauai Beach Resort, Kauai, Hawaii, USA, 2012/03/21.

**2012年度:**

42. Hiroya Nakao, "Pattern formation and chaos on complex networks", ISIMM

- (International Symposium on Innovative Mathematical Modeling) 2012 サテライトミーティング, 東京大学生産技術研究所, 2012/5/19.
43. Takashi Hayakawa, Yukito Iba, Takeshi Kaneko and Toshio Aoyagi, Monte Carlo sampling of learning rules on neuronal networks, Takashi Hayakawa, Yukito Iba, Takeshi Kaneko and Toshio Aoyagi, Bayesian Inference and Stochastic Computation 2012 Workshop, Institute of Statistical Mathematics, Tokyo, Japan, 2012/6/23.
  44. S. Aoi, N. Hayashi, T. Kondo, D. Yanagihara, S. Aoki, H. Yamaura, N. Ogihara, T. Funato, N. Tomita, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Hindlimb obstacle avoidance during rat locomotion based on a neuromusculoskeletal model", 4th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob2012), Rome, Italy, 2012年6月26日.
  45. S. Fujiki, S. Aoi, T. Kohda, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Emergence of hysteresis in gait transition of a hexapod robot driven by nonlinear oscillators with phase resetting", 4th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob2012), Rome, Italy, 2012年6月27日.
  46. T. Miyaji, Taylor model for Poincare map and applications, The 8th East Asia SIAM Conference, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, June 25--27, 2012
  47. T. Miyaji, A Taylor model method for verified numerical computation of Poincare map, 4th China-Japan-Korea Conference on Numerical Mathematics, Piazza Omi, Otsu, Japan, August 25--28, 2012
  48. Hiroya Nakao, Tatsuo Yanagita, and Yoji Kawamura, "Phase-reduction analysis of coupled spirals in reaction-diffusion systems", XXXII Dynamics Days Europe, Gothenburg, Sweden, 2-7 September 2012.
  49. Hiroe Oka, Topological crisis bifurcation, International Conference "Dynamical Systems: 100 years after Poincaré", Gijon, Spain, September 3-7, 2012
  50. Hiroya Nakao, "Diffusion-induced instability in activator-inhibitor systems on complex networks", Towards Mathematical Foundations of Complex Network Theory, Kyoto University, 14-16 September 2012.
  51. Takaaki Aoki and Toshio Aoyagi, Co-evolving Network Dynamics between Reaction-Diffusive Resources on Nodes and Weighted Connections, 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2012), Palma, Majorca, Spain, 2012/10/25.
  52. Ikuhiro Yamaguchi, Yutaro Ogawa, Hiroya Nakao, Yasuhiko Jimbo, and Kiyoshi Kotani, "Ginzburg-Landau equations reduced from coupled delay differential equations", 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications NOLTA2012, Palma, Majorca, Spain, October 22-26, 2012.
  53. Wataru Kurebayashi, Kantaro Fujiwara, Hiroya Nakao, and Tohru Ikeguchi, "A Theory on Noise-Induced Synchronization of Chaotic Oscillators", 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications NOLTA2012, Palma, Majorca, Spain, October 22-26, 2012.
  54. T. Funato, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "A system model that focuses on kinematic synergy for understanding human control structure", IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Guangzhou, China, 2012/12/11.
  55. S. Aoi, D. Katayama, S. Fujiki, T. Kohda, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Cusp catastrophe embedded in gait transition of a quadruped robot driven by nonlinear oscillators with phase resetting", IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Guangzhou, China, 2012/12/11.
  56. S. Fujiki, S. Aoi, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Improving adaptive walking of a biped robot on a splitbelt treadmill by controlling the interlimb coordination", IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Guangzhou, China,

2012/12/11.

57. T. Funato, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "The contribution of kinematic synergy on feedback control of human walking", Proceedings of the 6th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, Darmstadt, Germany, 2013/3/12.

**2013 年度:**

58. Takaaki Aoki and Toshio Aoyagi, Self-Organized Network Structure by Co-Evolving Dynamics Between Reaction-Diffusive Resources on Nodes and Weighted Connections, 2013 SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems (2013/5/19 - 2013/5/23), Snowbird Ski and Summer Resort, Snowbird, USA, 2013/5/19.
59. Wataru Kurebayashi, Kantaro Fujiwara, Hiroya Nakao, and Tohru Ikeguchi, "Analytical Approach to Noise-Induced Phase Synchronization of Chaotic Oscillators", SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird, Utah, USA, May 19-23, 2013.
60. Hiroya Nakao, Tatsuo Yanagita, Yoji Kawamura, "Phase Reduction Analysis of Oscillatory Patterns in Reaction- Diffusion Systems", SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird, Utah, USA, May 19-23, 2013.
61. Wataru Kurebayashi, Sho Shirasaka, and Hiroya Nakao, "Phase dynamics of limit-cycle oscillators subjected to strong perturbations", XXXIII International Conference Dynamics Days Europe 2013, Madrid, Spain, June 3-7, 2013.
62. Wataru Kurebayashi, Sho Shirasaka, and Hiroya Nakao, Phase description of limit-cycle oscillators subjected to strong perturbations, 7th International Conference Engineering of Chemical Complexity, Rostoc-Warnemunde, Germany, June 10-13, 2013.
63. S. Aoi, T. Funato, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Neuromusculoskeletal model of human running based on muscle synergy", 5th International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions, Vancouver, Canada, 2013/6/27
64. T. Funato, K. Hashizume, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Experimental validation of nonlinear PID control model for human sway during standing", 5th International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions, Vancouver, Canada, 2013/6/27
65. Takashi Hayakawa, Takeshi Kaneko, Toshio Aoyagi, A General Framework for Learning of Cortical Dynamics, Modeling Neural Activity: Statistics, Dynamical Systems, and Networks (2013/6/26-2013/6/28), Lihue, Hawaii, USA, 2013/6/27.
66. Kaiichiro Ota, Toshio Aoyagi, A Bayesian method for uncovering interactions in neural oscillator networks based on reduction theory of dynamical systems, Modeling Neural Activity: Statistics, Dynamical Systems, and Networks (2013/6/26-2013/6/28), Lihue, Hawaii, USA, 2013/6/26.
67. Tetsuro Funato, Yuki Yamamoto, Shinya Aoi, Nozomi Tomita, Takashi Imai, Toshio Aoyagi, Kazuo Tsuchiya, Estimating the phase response curve of human walking using WSTA method, SICE Annual Conference 2013(2013/9/14-2013/9/17), Nagoya University, Nagoya, Japan, 2013/9/16.
68. T. Funato, Y. Yamamoto, S. Aoi, N. Tomita, T. Imai, T. Aoyagi, and K. Tsuchiya, "Estimating the phase response curve of human walking using WSTA method", SICE Annual Conference 2013, Nagoya, Japan, 2013/9/16
69. S. Aoi, "Neuromusculoskeletal models and legged robots to reveal adaptive functions in locomotion dynamics", Swiss-Kyoto Symposium, ETH Zurich Zentrum Campus, Swiss, 2013/11/21
70. Takaaki Aoki, Toshio Aoyagi, Self-Organized Network Structure Emerging from Co-Evolving Dynamics Between Resources on Nodes and Weighted Connections,

Network Frontier Workshop 2013 (2013/12/04-06), Northwestern University Evanston, IL, 2013/12/04.

71. T. Miyaji, Computer-assisted analysis on a four-leaf orbit of Craik's 3D dynamical system, The 10th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, Universidad Autonoma de Madrid, Madrid, Spain, July 8, 2014
72. Ipei Obayashi, "Construction of the basin of attraction for simple bipedal walking models by the hyperbolicity of inverted pendulum", RIMS Conference / The 6th CREST-SBM International Conference "New Directions in Applied Dynamical Systems", RIMS, Kyoto University, Japan, 2014/3/10
73. Kaiichiro Ota, Toshio Aoyagi, Analyzing rhythmic data using dynamical systems theory and Bayesian statistics, RIMS Conference / The 6th CREST-SBM International Conference: New Directions in Applied Dynamical Systems (2014/3/10-2014/3/14), Research Institute for Mathematical Sciences (RIMS), Kyoto, Japan, 2014/3/12.
74. Takaaki Aoki, Toshio Aoyagi, Organization of complex networks as a dynamical system, RIMS Conference on New Directions in Applied Dynamical Systems & The 6th CREST-SBM International Conference (2014/03/10-14), Research Institute for Mathematical Sciences (RIMS), Kyoto, Japan, 2014/3/12.
75. Hiroe Oka, Detecting Morse Decompositions of the Global Attractor of Regulatory Networks by Time Series Data, RIMS Conference / The 6th CREST-SBM International Conference "New Directions in Applied Dynamical Systems", RIMS, Kyoto University, Japan, 2014/3/13.
76. Hidetoshi Morita, Masaru Inatsu, and Hiroshi Kokubu, "Application of a topological-computation method to meteorological data," RIMS Conference on New Directions in Applied Dynamical Systems & The 6th CREST-SBM International Conference (2014/03/10-14), Research Institute for Mathematical Sciences (RIMS), Kyoto, Japan, 2014/3/13.

#### 2014 年度

77. S. Noro, T. Funato, S. Aoi, K. Nakano, and K. Tsuchiya, "Experimental validation of nonlinear PID model for human standing with large body sway", 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2014/5/16
78. S. Fujiki, S. Aoi, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Generation of adaptive splitbelt treadmill walking of a biped robot using learning of intralimb and interlimb coordinations", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Hong Kong, China, 2014/6/3
79. S. Aoi, "Neuromusculoskeletal models and legged robots for exploring adaptive locomotion control in humans and animals", Bristol-Kyoto Workshop on Stability and Control of Bipedal Locomotion, Bristol, UK, 2014/7/7
80. Ipei Obayashi, Geometric characteristics of the basin of attraction for simple bipedal walking models from the hyperbolicity of an inverted pendulum, Bristol-Kyoto Workshop on Stability and Control of Bipedal Locomotion, Bristol, UK, 2014/7/7
81. T. Funato, "Experiment and data-based analysis of human and animal locomotion for exploring control mechanisms", Bristol-Kyoto Workshop on Stability and Control of Bipedal Locomotion, Bristol, UK, 2014/7/7
82. Analyzing interacting rhythms using dynamical systems theory and Bayesian statistics: An application to human walking dynamics, Kaiichiro Ota, Tetsuro Funato, Nozomi Tomita, Shinya Aoi, Kazuo Tsuchiya, and Toshio Aoyagi, JSMB/SMB 2014 (2014/7/28-2014/8/1), Osaka International Convention Center, Osaka, Japan, 2014/7/29.

83. Ken Nishikawa, Wataru Kurebayashi, and Hiroya Nakao, "Sequential Bayesian Estimation of Non-stationary Collective Dynamics in Swarm Models", Joint Annual Meeting of the Japanese Society for Mathematical Biology and the Society for Mathematical Biology, July 28 - August 1, 2014, Osaka International Convention Center, Osaka, Japan.
84. Wataru Kurebayashi and Hiroya Nakao, "Synchronization patterns of biological oscillations induced by correlated environmental fluctuations", Joint Annual Meeting of the Japanese Society for Mathematical Biology and the Society for Mathematical Biology, July 28 - August 1, 2014, Osaka International Convention Center, Osaka, Japan.
85. T. Funato, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Dynamical analysis of human standing model with cyclic motion", 5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Sao Paulo, Brazil, 2014/8/14
86. Wataru Kurebayashi, Sho Shirasaka, and Hiroya Nakao, "Robust synchronization analysis by quadratic phase equation", XXXIV Dynamics Days Europe, 8-12 September 2014, University of Bayreuth, Germany.
87. Sho Shirasaka, Wataru Kurebayashi, and Hiroya Nakao, "A general framework for analyzing synchronization dynamics of weakly perturbed oscillators in hybrid dynamical systems", IEEE International Meeting on Analysis and Applications of Nonsmooth Systems, September 10-12, Como, Italy.
88. Wataru Kurebayashi, Sho Shirasaka, Hiroya Nakao, "Synchronization Analysis of Nonlinear Oscillators by a Quadratic Phase Model", 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2014), Luzern, Switzerland, September 14-18, 2014.
89. Ken Nishikawa, Wataru Kurebayashi, Hiroya Nakao, "Bayesian Parameter Estimation of Non-Stationary Collective Dynamics in Moving Animal Groups", 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2014), Luzern, Switzerland, September 14-18, 2014.
90. Bayesian estimation of simple models for networked oscillators based on experimental data, Kaiichiro Ota and Toshio Aoyagi, NetCon@ECCS'14 (2014/9/25), IMT Institute for Advanced Studies, Lucca, Italy, 2014/9/25.
91. T. Miyaji, Computer-assisted analysis of Craik's 3D dynamical system, FoCM'14, A1 Workshop Computational Dynamics, Montevideo, Uruguay, December 11-13, 2014.
92. W. Kurebayashi, S. Shirasaka, and H. Nakao, "Synchronization Analysis of Oscillator Circuits by Quadratic Phase Models", 3rd Japan-Korea Joint Workshop on Complex Communication Sciences (JKCCS'14), Paradise Hotel, Busan, Korea, October 27-28, 2014.
93. Hiroe Oka, Detecting Morse Decompositions of the Global Attractor of Regulatory Networks by Time Series Data, FoCM'14, A1 Workshop Computational Dynamics, Montevideo, Uruguay, December 11-13, 2014.
94. Hiroshi Kokubu, Various robustness concepts for global dynamics in applications, A3 joint Workshop on Fluid Dynamics and Material Science, Peking University, Beijing, China, Feb. 11-13, 2015.

③ ポスター発表 (国内会議 39 件、国際会議 44 件)

〈国内〉

**2009 年度:**

1. S. Aoi, N. Ogihara, T. Funato, Y. Sugimoto, and K. Tsuchiya, "Generation of Adaptive Human Bipedal Locomotion Based on a Neuromusculoskeletal Model",

- The 3rd International Symposium on Mobiligence, Awaji, Nov., 2009.
2. T. Funato, S. Aoi, and K. Tsuchiya, "An Analysis of the Kinematic Indices of Human Walking", The 3rd International Symposium on Mobiligence, Awaji, Nov., 2009.
  3. 太田絵一郎, 青柳富誌生, 非対称近傍関数による自己組織化マップの学習の高速化, 京都大学 ICT イノベーション 2010 (2010/2/19), 京都大学 百周年時計台記念館, 2010/2/19

#### 2010 年度:

4. 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄: 歩行時の特徴的動作に基づく関節間協調の構成要因の評価, 第 4 回生理学研究所 Motor Control 研究会, 岡崎市・生理学研究所, 2010/5/29.
5. 細川哲朗, 船戸徹郎, 土屋和雄: ヒトの全身運動に対する外乱付加装置の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010(ROBOMECH2010), 旭川市, 2010/6/16.
6. 細川哲朗, 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄: 動作計測に基づくヒトの歩行運動時の位相反応曲線の推定, 第 16 回創発システム・シンポジウム, 富山市・インテック大山研修センター, 2010/8/6.
7. 田中琢真, 青柳富誌生, 金子武嗣, 疎表現モデルによる一次視覚野単純型細胞・複雑型細胞の選択性の再現 (Simple and complex cell-like selectivity is reproduced by sparse coding model), Neuro2010 (2010/9/2-2010/9/4), 神戸コンベンションセンター, 2010/9/4, ポスター.
8. Takaaki Aoki, Yuri Kamitani, and Toshio Aoyagi, Asymptotic states of a recurrent network under ongoing synaptic plasticity, Neuro 2010 (2010/09/02- 2010/09/04), Kobe, 2010/09/04, Poster.
9. 太田絵一郎, 青柳富誌生, WSTA 法 - 揺らぐ刺激を用いた位相感受性の実験測定手法, 非線形数理若手の会 (2010/11/15-2010/11/17), 九州大学西新プラザ, 2010/11/16, ポスター.

#### 2011 年度:

10. 小西智也, 船戸徹郎, 土屋和雄, "関節拘束の影響によるヒトの歩行運動の変化", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 岡山県岡山市・岡山コンベンションセンター, 2011/5/28.
11. 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄, "歩行周期間の運動ゆらぎに基づく関節間協調を介した歩行制御機構の検討", 生理学研究所第 5 回 Motor Control 研究会, 愛知県岡崎市自然科学研究機構・岡崎コンファレンスセンター, 2011/6/17.
12. 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄, "運動学シナジーを介した歩行制御モデルの力学シミュレーションによる検証", 第 17 回創発システム・シンポジウム, 滋賀県彦根市・彦根ビューホテル, 2011/9/3.
13. 土屋和雄, 青井伸也, 船戸徹郎, 富田望, "ヒト歩行運動の低次元構造とシステムモデル", 第 2 回領域シンポジウム 越境する数学, 東京都千代田区・アキバホール, 2011 年 9 月 7 日.
14. Yamaura, H., Hirai, H., Yanagihara, D., "Dysfunction of postural adjustments associated with voluntary movements in a mouse model of spinocerebellar ataxia type 3", 日本神経回路学会第 21 回全国大会. 沖縄県, 2011 年 12 月 15 日.

#### 2012 年度:

15. 橋詰幸治, 船戸徹郎, 富田望, 土屋和雄, "ヒトの直立姿勢時の積分補償付き間欠制御モデルの提案", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, アクトシティ浜松, 2012 年 5 月 29 日.
16. 今井貴史(京大), 太田絵一郎(京大), 青柳富誌生(京大), 長時間後の影響まで見積もった位相応答曲線の効率的計測法, 自然科学縦横無尽 2012, 東京大学生産技術研究所, 2012/6/9.
17. 船戸徹郎, 青井伸也, 富田望, 土屋和雄, "運動学シナジーに基づくヒトの歩行制御機構の力学解析", 第 6 回 Motor Control 研究会, 岡崎市・生理学研究所, 2012/6/22.



18. 富田望, 上江洲佑典, 勝部晃將, 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, "ヒト歩容遷移運動時のキネマティクスデータ解析", 第 6 回 Motor Control 研究会, 岡崎市・生理学研究所, 2012/6/22.
19. 藤木聡一郎, 青井伸也, 船戸徹郎, 富田望, 土屋和雄, "左右分離型トレッドミルにおける非線形振動子を用いた 2 脚ロボットの適応的歩行生成", 第 18 回創発システムシンポジウム, 同志社びわこリトリートセンター, 2012 年 9 月 1 日.
20. 早川 隆, 伊庭 幸人, 金子 武嗣, 青柳 富誌生, 大脳皮質神経回路モデルの探索: モンテカルロ法による学習則のサンプリング, 日本神経科学学会 第 35 回全国大会, 名古屋国際会議場, 2012/9/21.
21. 太田 絵一郎, 田中 琢真, 青柳 富誌生, 神経振動子間の三体相互作用により誘起される複数のラインアトラクタ, 第 35 回日本神経科学大会, 名古屋国際会議場, 2012/9/21.

#### 2013 年度:

22. 太田絵一郎, 青柳富誌生, 脳リズムからの観測時系列データに基づく位相モデルの統計的推定, Neuro2013 (2013/6/20-2013/6/23), 国立京都国際会館, 2013/6/20.
23. 竹内絵理, 石田綾, 山浦洋, 柚崎通介, 加藤明, 柳原大, "cbln1-null mice における歩行失調の動作学的解析", 第 36 回日本神経科学大会, 京都, 2013/6/20
24. 青井伸也, 富田望, 船戸徹郎, 土屋和雄, "神経筋骨格モデルを用いた筋シナジーに基づくヒトの歩行・走行制御", 第 7 回 Motor Control 研究会, 東京大学 弥生講堂・アネックス, 2013/9/7
25. 富田望, 勝部晃將, 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, "ヒト歩行走行遷移時の筋電位解析", 第 7 回 Motor Control 研究会, 東京大学 弥生講堂・アネックス, 2013/9/7
26. トランスファー・エントロピーによる非線形振動子間の結合の状態評価, 清水りな, 青柳富誌生, 日本物理学会 第 69 回秋季大会 (2014/9/7-2014/9/10), 愛知県中部大学春日井キャンパス, 2014/9/8.
27. 八幡晃一郎, 青木高明, 青柳富誌生, 動的なネットワーク上の資源拡散系におけるべき分布の発生とミクロの非定常性, 日本物理学会 2013 年秋季大会 (2013/9/25-2013/9/28), 徳島大学 常三島キャンパス, 2013/9/28.
28. 寺田裕, 青柳富誌生, 同期現象を引き起こす位相振動子集団の最適な結合ネットワークの特性, 日本物理学会 2013 年秋季大会 (2013/9/25-2013/9/28), 徳島大学 常三島キャンパス, 2013/9/28.
29. 青井伸也, 船戸徹郎, 富田望, 土屋和雄, "神経筋骨格モデルを用いた筋シナジーに基づくヒトの歩行制御", システム・情報部門学術講演会, 大津市・ピアザ淡海, 2013/11/19
30. 大林一平 青井伸也 土屋和雄 國府 寛司, "サドル型の双曲性による二足歩行モデルの吸引領域の形成", FIRST 合原プロジェクト?CREST 数学領域 合同シンポジウム, 東京, 2014/01/06
31. 大林一平 青井伸也 土屋和雄 國府 寛司, "シンプルなコンパス型二足歩行モデルにおける, 系の双曲性とハイブリッド性による吸引領域の形成", CREST「数学」領域横断若手合宿, 休暇村指宿, 2014/01/31
32. 國府寛司, Detecting Morse Decompositions of the Global Attractor of Regulatory Networks by Time Series Data, CREST「数学」領域横断若手合宿, 休暇村指宿, 2014 年 2 月 1 日
33. 森田英俊, 稲津將, 國府寛司, 「Conley-Morse グラフの方法による気象データ解析」, 第 1 回 JST CREST「数学」領域横断若手合宿, 指宿市, 2014 年 2 月 1 日
34. 宮路智行, Taylor model method for verified numerical computation of Poincaré map and its applications, 第 1 回 JST CREST「数学」領域横断若手合宿, 休暇村指宿, 2014 年 1 月 31 日--2 月 2 日
35. 青柳富誌生, 太田絵一郎, 実験データに基づく位相縮約系の統計的推定, 日本物理学会 第 69 回年次大会 (2014/3/27-2014/3/30), 東海大学 湘南キャンパス, 2014 年 3 月 30 日.

36. 青木高明, 八幡晃一郎, 青柳富誌生, 動的に変化するネットワークにおける平衡状態の安定性, 日本物理学会 第 69 回年次大会(2014/3/27-30), 東海大学 湘南キャンパス, 2014 年 3 月 30 日.

#### 2014 年度:

37. 戸枝美咲, 青井伸也, 船戸徹郎, 土屋和雄, 柳原大, "ラットの神経筋骨格モデルの構築と四足歩行の動力学シミュレーション", 第 8 回 Motor Control 研究会, 筑波大学, 2014/8/8
38. 藤木聡一郎, 青井伸也, 柳原大, 船戸徹郎, 富田望, 荻原直道, 泉田啓, 土屋和雄, "ラット後肢左右分離型トレッドミル歩行の計測と神経筋骨格モデル", 第 8 回 Motor Control 研究会, 筑波大学, 2014/8/9
39. 藤木聡一郎, 青井伸也, 柳原大, 船戸徹郎, 富田望, 荻原直道, 泉田啓, 土屋和雄:ラットの神経筋骨格モデルに基づく後肢スプリットベルト・トレッドミル歩行, システム・情報部門学術講演会(SSI2014), 岡山大学津島キャンパス, 2014/11/21.

〈国際〉

#### 2009 年度

1. Masatoshi Nagata, Masaki Nomura, Toshio Aoyagi, Tetsuo Yamamori, Yasuo Kubota, Ann M. Graybiel, Takashi Kitsukawa, Sequential timing control of complex stepping in mice, Neuroscience2009, McCormick Place Campus, 2301 S. Lake Shore Drive, Chicago, Ill. U.S.A., 2009/10/17

#### 2010 年度:

2. S. Aoi, N. Ogihara, T. Funato, Y. Sugimoto, and K. Tsuchiya, "Evaluation of functional roles of phase resetting in generation of adaptive human locomotion based on a neuromusculoskeletal model", 4th International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions (ISHF2010), Prague, Czech Republic, 2010/6/14.
3. T. Funato, S. Aoi, and K. Tsuchiya, "Robust patterns embedded in the kinematics of human locomotion under various environments", 4th International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions (ISHF2010), Prague, Czech Republic, 2010/6/14.
4. Masaki Nomura, Daisuke Ito, Kazutoshi Gohara and Toshio Aoyagi, Simple Model of a Neuronal Network Reproducing Synchronous Bursts, 7th International Meeting on Substrate-Integrated Microelectrode Arrays (2010/6/29-2010/7/2), Friedrich-List-Halle, Reutlingen, Germany, 2010/7/1, poster.
5. Hiroya Nakao, Localization of Laplacian Eigenvectors on Complex Networks, "StatPhysHK - complexity, computation, information, Hong Kong Baptist University, China, 2010.7.13, poster.
6. Shigefumi Hata and Hiroya Nakao, Stochastic Phase Synchronization of Chaotic Oscillators, StatPhysHK - complexity, computation, information, Hong Kong Baptist University, China, 2010.7.14, poster.
7. S. Hata and H. Nakao, Stochastic phase description of fluctuating rhythmic elements, StatPhys24, Cairns Convention Centre, Australia, Jul. 2010, poster.
8. Takaaki Aoki, Yuri Kamitani, and Toshio Aoyagi, Asymptotic states of a recurrent network under ongoing synaptic plasticity, Neuro 2010 (2010/09/02- 2010/09/04), Kobe, 2010/09/04.
9. Hiroya Nakao, "Phase reduction approach to traveling pulses in reaction-diffusion systems", "Far-From-Equilibrium Dynamics 2011", Research Institute for Mathematical Sciences, Kyoto University, 2011/1/6.
10. Shigefumi Hata and Hiroya Nakao, "Optimal phase response curves for synchronization of limit-cycle oscillators by common Poisson impulses", The 1st International Symposium on Innovative Mathematical Modelling, University of

Tokyo, 2011/2/28.

**2011 年度:**

11. Yutaro Ogawa, Ikuhiro Yamaguchi, Hiroya Nakao, Yasuhiko Jimbo, and Kiyoshi Kotani, "Phase reduction for analyzing collective rhythms of delay-induced oscillations", SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems, Snowbird Ski and Summer Resort, USA, 2011 年 5 月 22-26 日.
12. S. Hata and H. Nakao, "Optimal phase response curves for synchronization of limit-cycle oscillators by common Poisson impulses", Engineering of Chemical Complexity, Fritz-Haber-Institute of Max-Planck-Society, Berlin, Germany, 2011 年 7 月 4-8 日.
13. Hiroe Oka, A topological-computational approach to the boundary crisis bifurcations, International Congress for Industrial and Applied Mathematics, Vancouver, Canada, July 18-22, 2011
14. Kotajima, H., Narumi, S., Yuzaki, M., Yanagihara, D., "Fear-conditioned bradycardia in ho15J mice", The Society for Neuroscience annual meeting 2011. Washington, DC, 2011 年 11 月 13 日.
15. Mochinaga, S., Kotajima, H., Hanakawa, T., Yanagihara, D., "Neural activity during predicting the performance of high jump in athletes", The Society for Neuroscience annual meeting 2011. Washington, DC, 2011 年 11 月 15 日.
16. Aoki, S., Yanagihara, D., "Effects of a unilateral lesion in the lateral cerebellum on limb movements of rats stepping over an obstacle during locomotion", The Society for Neuroscience annual meeting 2011. Washington, DC, 2011 年 11 月 16 日.
17. Takeuchi, E., Ito-Ishida, A., Narumi, S., Yuzaki, M., Yanagihara, D., "Kinematic analysis of ataxic gait in ho15J and cbln1-null mice", The Society for Neuroscience annual meeting 2011. Washington, DC, 2011 年 11 月 16 日.
18. Ipppei Obayashi, Computing recurrent sets from time series, RIMS Conference "Frontiers in Dynamical systems and Topology", November 21-25, 2011
19. Hiroe Oka, Topological computational approach to the crisis bifurcations, RIMS Conference "Frontiers in Dynamical systems and Topology", November 21-25, 2011
20. Hidetoshi Morita, Collective motion in conservative systems, 2011 Kyoto Workshop on NOLTA, Kyoto, Japan, 2012/11/30
21. Yuri Kamitani, Takaaki Aoki, Toshio Aoyagi, Asymptotic behavior in a co-evolving network of neurons with synaptic plasticity, The Proceedings of the 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society, 2011/12/16.

**2012 年度:**

22. T. Funato, Y. Yamamoto, S. Aoi, N. Tomita, and K. Tsuchiya, "Analysis of rhythm adjustment mechanism of human locomotion against horizontal perturbation", 4th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob2012), Rome, Italy, 2012 年 6 月 27 日.
23. Shigefumi Hata, Hiroya Nakao, and Alexander S. Mikhailov, "Global feedback control of Turing patterns in network-organized activator-inhibitor systems", XXXII Dynamics Days Europe, Gothenburg, Sweden, 2-7 September 2012.
24. Yu Terada and Toshio Aoyagi, "Two populations of phase oscillators with different distributions of natural frequencies", GCOE Symposium Development of emergent new fields, Kyoto University Clock Tower Centennial Hall International Conference Hall, Kyoto, Japan, 2013/2/13.
25. Hiroe Oka, Bifurcations of Conley-Morse graphs: Crisis and Monodromy, The First International Conference on Dynamics of Differential Equations, Georgia Institute of Technology, Atlanta, U.S.A., March 15-20, 2013

**2013 年度:**

26. Ippei Obayashi, "Data series analysis using SCC decomposition algorithm", IMA Special Workshop Joint US-Japan Workshop for Young Researchers on Interactions among Localized Patterns in Dissipative Systems, University of Minnesota, 2013/06/04
27. Sho Shirasaka, Wataru Kurebayashi, and Hiroya Nakao, "Phase sensitivity function for hybrid limit-cycle oscillators via the adjoint method", 7th International Conference Engineering of Chemical Complexity, Rostock-Warnemunde, Germany, June 10-13, 2013.
28. Takaaki Aoki, Koichiro Yawata, Toshio Aoyagi, Equilibrium state of an adaptive network depending on diffusion dynamics of a resource, International Workshop on Phase Transition, Critical Phenomena and Related Topics in Complex Networks (2013/9/9-11), Hokkaido University, Sapporo, 2013/9/10.
29. Hidetoshi Morita, Masaru Inatsu, and Hiroshi Kokubu, "Application of a topological computation method to meteorological data," RIMS International Conference on Theoretical Aspects of Variability and Predictability in Weather and Climate Systems, RIMS, Kyoto University, Kyoto, 2013/10/23.
30. Susumu Setogawa, Hiroshi Yamaura, Shogo Endo, and Dai Yanagihara, "Deficits in working memory related to obstacle avoidance during locomotion in Alzheimer's disease mutant mice", The Society for Neuroscience Annual Meeting 2013, San Diego, 2013/11/12
31. Sho Yasui, Wataru Kurebayashi, and Hiroya Nakao, "Generation and Control of Autonomous Periodic Motion in a Mathematical Model of Multi-Joint Robots with Energy Dissipation", 3rd International Symposium on Innovative Mathematical Modeling, Univ. Tokyo, Japan, November 12-15, 2013.
32. Wataru Kurebayashi, Sho Shirasaka, and Hiroya Nakao, "Phase Description of Strongly Perturbed Nonlinear Oscillators", 3rd International Symposium on Innovative Mathematical Modeling, Univ. Tokyo, Japan, November 12-15, 2013.
33. Sho Shirasaka, Wataru Kurebayashi, and Hiroya Nakao, "Phase description of hybrid limit-cycle oscillators", 3rd International Symposium on Innovative Mathematical Modeling, Univ. Tokyo, Japan, November 12-15, 2013.
34. Tsubasa Ishii, Wataru Kurebayashi, and Hiroya Nakao, "Design of nonlinear oscillators with prescribed orbits and response properties", 3rd International Symposium on Innovative Mathematical Modeling, Univ. Tokyo, Japan, November 12-15, 2013.
35. Hiroe Oka, Detecting Morse Decompositions of the Global Attractor of Regulatory Networks by Time Series Data, IMA Workshop "Algebraic Topology in Dynamics, Differential Equations, and Experimental Data" February 10-14, 2014, IMA, U Minnesota
36. Wataru Kurebayashi, Sho Shirasaka, and Hiroya Nakao, "A phase reduction method for strongly perturbed limit cycle oscillators and its applications", Nonlinear dynamics and stochastic methods: from neuroscience to other biological applications, O'Hara Student Center, University of Pittsburgh, Pittsburgh, USA, March 10-12, 2014.
37. Yu Atsumi, Shigefumi Hata and Hiroya Nakao, "Stochastic Dynamics of Coupled Bistable Systems on scale-free networks", 5th International Workshop on Complex Networks, University of Bologna, Italy, March 12-14, 2014.

**2014 年度:**

38. Hiroya Nakao, Tatsuo Yanagita, and Yoji Kawamura, "Optimal entrainment of rhythmic patterns in reaction-diffusion systems by periodic spatiotemporal forcing", Gordon Research Conference: Oscillations & Dynamic Instabilities in Chemical Systems, 07/13/2014 - 07/18/2014, Melia Golf Vichy Catalan Business

- and Convention Center, Girona, Spain.
39. The co-evolving dynamics of the temporally changing network and the diffusion dynamics of a resource, Koichiro Yawata, Takaaki Aoki, Toshio Aoyagi, JSMB/SMB 2014 (2014/7/28-2014/8/1), Osaka International Convention Center, Osaka, Japan, 2014/7/29.
  40. S. Fujiki, S. Aoi, D. Yanagihara, T. Funato, N. Tomita, N. Ogihara, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Hindlimb splitbelt treadmill walking of a rat based on a neuromusculoskeletal model", 5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Sao Paulo, Brazil, 2014/8/15
  41. S. Aoi, T. Tanaka, S. Fujiki, K. Senda, and K. Tsuchiya, "Experimental verification of cusp catastrophe in the gait transition of a quadruped robot driven by nonlinear oscillators with phase resetting", 5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Sao Paulo, Brazil, 2014/8/15
  42. Inferring a dynamical model of interacting neural oscillations based on observed time-series data, Kaiichiro Ota and Toshio Aoyagi, 24th Annual Conference of Japanese Neural Network Society (2014/8/27-2014/8/29), Future University Hakodate, Hokkaido, Japan, 2014/8/27.
  43. Ken Nishikawa, Wataru Kurebayashi, and Hiroya Nakao, "Sequential Bayesian Parameter Estimation of Non-Steady Collective Dynamics in Swarm Models", XXXIV Dynamics Days Europe, 8-12 September 2014, University of Bayreuth, Germany.
  44. Masaki Nomura, Masahiro Nakamura, Sayaka Arai, Yuji Hashimoto, Shinya Yamanaka and Akira Watanabe, "Topological Transcriptome Analysis of iPS Cells at Single Cell Levels", The International Conference on Systems Biology 2014, Melbourne, Australia, 2014/09/16.

#### (4)知財出願

- ①国内出願 (0 件)
- ②海外出願 (0 件)
- ③その他の知的財産権 なし

#### (5)受賞・報道等

- ①受賞
  - SI2011 優秀講演, 青井伸也, 船戸徹郎, 富田望, 土屋和雄, 2011 年 12 月 25 日
  - Best Paper Award at IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, S. Aoi, N. Hayashi, T. Kondo, D. Yanagihara, S. Aoki, H. Yamaura, N. Ogihara, T. Funato, N. Tomita, K. Senda, and K. Tsuchiya, 2012/6/27.
  - 計測自動制御学会 SI 部門賞 研究奨励賞, 青井伸也, 船戸徹郎, 富田望, 土屋和雄, 2012 年 12 月 19 日.
  - 計測自動制御学会 生体・生理工学部会 研究奨励賞, 青井伸也, 2013/9/13
- ②マスコミ(新聞・TV等)報道(プレス発表をした場合にはその概要もお書き下さい。) なし
- ③その他 なし

#### (6)成果展開事例

##### ①実用化に向けての展開

特になし

## ②社会還元的な展開活動

- 本研究成果をインターネット(URL; <http://crest.math.kyoto-u.ac.jp>)で公開し、一般に情報提供している。

## § 6 研究期間中の活動

### 6. 1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2010年12月15日	第3回数理情報学科特別講義	龍谷大学理工学部	受講者約100人	青井伸也が特別講義した
2011年9月12・13日	坂上チーム・國府チームCREST合同セミナー	北海道大学理学部3号館	22人	研究発表と討論
2011年12月3日	Workshop on Applied Dynamical Systems	京都大学理学研究科	約30人	P. Holmes 教授の来日に合わせた特別セミナー
2012年2月9～11日	Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project	ブラジル・Florianopolis	9人	Cmgraph ソフトウェア開発者会議 K.Mischaikow ほか国外の協力者4名が参加
2012年3月19～22日	Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project	米国・ハワイ	26人	Cmgraph ソフトウェアとその応用に関する国際研究集会
2012年6月15日	第50回自律分散システム部会研究会	京都大学百周年時計台	60人	計測自動制御学会システム情報部門自律分散システム部会が主催の研究会に本CRESTが協賛。國府寛司と青柳富誌生が講演
2012年9月1～3日	第18回創発システムシンポジウム	同志社リトリートセンター	90人	本CRESTが協賛 青井伸也がチュートリアル講演 船戸徹郎が実行委員幹事
2012年12月25日	GCOE 集中講義「数学と自然科学・社会科学III」	京都大学理学研究科	約20人	土屋和雄と青井伸也が「機械システムの運動と制御」という題目で講義
2013年2月10～14日	Developers Workshop on the Conley-Morse Database Project	京都大学理学研究科	10人	ODEの全構造計算のためのソフトウェアの改良を中心とした討議と作業 K.Mischaikow ほか国外の協力者4名が参加
2013年7月23日	応用数学セミナー	京都大学理学研究科	約15人	郡宏氏によるセミナー講演 CRESTセミナーとして共催
2014年2月18日	応用数学セミナー	京都大学理学研究科	約20人	我妻広明氏によるセミナー講演 CRESTセミナーとして共催
2014年3月10～14	CREST-SBM 国際会議 “New Directions	京都大学数理解析	75人(うち外国人)	CREST研究に関連する力学系理論の応用展開の

日	in Applied Dynamical Systems”	研究所	10 人)	国際会議を開催 K.Mischaikow ほか国外の協力者4名も参加
2014 年 7 月 7～8 日	Bristol-Kyoto Workshop on Stability and Control of Bipedal Locomotion	イギリス・Bristol 大学	約 35 人	Bristol 大学の Alan Champneys, John Macdonald, Jeremy Burn らの研究グループとの Workshop 本 CREST から, 青井伸也, 青木高明, 太田絵一郎, 大林一平, 土屋和雄, 船戸徹郎が参加
2014 年 8 月 18～22 日	International Workshop “Combinatorial/Topological Frameworks for Multiparameter Nonlinear Dynamics”	オランダ・Leiden 大学 Lorentz Center	約 30 人	國府が Rutgers 大学の K. Mischaikow らと企画した討論を主体とする国際ワークショップ 本 CREST から, 國府寛司, 大林一平, 森田英俊, 野村真樹, 宮路智行, 岡宏枝が参加 開催費の一部に JST 国際強化支援の補助を受けた



## §7 最後に

本研究は、数学、物理学、機械工学の3つの、研究の方法も考え方も相当に異なる分野の研究者が、平均してほぼ月に1回くらいのペースで頻繁にミーティングを開催するなど、時間をかけて議論し、相互の理解を深めることで、最終的には非常に良い連携ができたと思います。当初は言葉もなかなか理解できず、お互いに研究発表を聴き合う段階からの出発でしたが、次第に問題意識の共有ができるようになり、特に中間評価の準備を契機に、身体力学 G のデータをどのように理解するかという点で数理的方法論に、当初の研究構想にはなかった新たな視点が得られ、それがその後の研究展開につながりました。期間の後半は、3つのグループに間で十分に深い相互理解が得られ、大変楽しい議論ができたと思います。

これにより、真にグループを横断する共同研究により興味深い成果が得られたことと、そのために開発した方法が数学それ自身にフィードバックする成果にもなったことで、研究プロジェクトとしては期待以上の成果につながったと思います。幸いにも代表者と主たる分担者は同一大学の所属であり、この地の利を活かし、また本研究で広がった国際的なネットワークも利用して、今後もこの共同研究を継続・発展させて行きたいと考えています。