

研究内容、成果、2003 年度研究活動報告

1) 研究内容

キーワード： クラス I ニューロン、ギャップジャンクション、カオスの遍歴、ニューロン発火の同期非同期

ニューロンを外部電流刺激の強さに対する発火特性の見地から分類するとクラス I ニューロンとクラス II ニューロンに大別される。おおざっぱに言うともクラス II は下等生物のニューロン、クラス I は哺乳類のニューロンである。これらのニューロンに対して微分方程式によるモデルがいろいろ提唱されているが、クラス II とクラス I のモデルの数理的な違いはスパイク生成の機構が前者は subcritical Hopf 分岐であるのに対し、後者は saddle-node 分岐である。

ニューロン同士の結合には神経伝達物質を介在して結合する化学シナプスとニューロン同士が直接接触している電気シナプス(ギャップジャンクション)がある。ギャップジャンクションは従来は下等動物などでは存在するが、哺乳類などでは存在しないと思われていたが、近年哺乳類の脳新皮質で膨大な数のギャップジャンクションの存在が報告されている。

しかし、クラス I ニューロンのギャップジャンクションによる結合系の動力学、またギャップジャンクションの脳内の情報表現における役割に果たしているであろう機能的役割はあまり研究されていない。ここ数年、ギャップジャンクションがニューロンのスパイク発火のシンクロニー(同期)を促進する等の報告がなされているが、この結合系で起こるカオスやカオスの遍歴に注目した研究はほとんどなされていない。(カオスの遍歴は高次元の系において低次元のアトラクター痕跡の間を高次元のカオスの状態を経由して移行行く現象)

そこで、クラス I ニューロンのモデルをギャップジャンクションで結合した系のシミュレーションを行って、そこで起こるカオスやカオスの遍歴について調べ、ギャップジャンクションの脳内の情報表現における役割を探っている。

2) 成果

クラス I ニューロンの特徴を抽出して数学的に取り扱いやすく単純化されたモデル(μ モデル)のギャップジャンクション結合系についてシミュレーションを行ない、結合様式を一次元最近接結合にした系において、ニューロンが殆んど同期して発火する状態と非同期発火の乱れた状態が不規則に繰り返されるパターンを見つけた。これは低次元のアトラクター痕跡である「殆んど全てのニューロンが同期した」状態の間を高次元のカオスの状態である「非同期発火の乱れた状態」を通じて行き来するカオスの遍歴現象である。

このカオスの遍歴の状態のリヤプノフ指数を計算すると収束が異常に遅いことが分った。最近、津田、梅村によって、カオスの遍歴発現の兆候の一つとして「リヤプノフ指数の収束の遅さ」が提唱されているが、この結果はこのことを確かめるものでその意義は大きい。

今回シミュレーションに使った μ モデルは数学的に非常に単純で取り扱いが容易である。このような単純なモデルでカオスの遍歴を見つけたことは、まだ良く分っていないカオスの遍歴発現の数学的な機構を解明する上で、今後非常に役に立つと思われる。

3) 2003 年度研究活動報告

クラス I ニューロンの特徴を抽出して数学的に取り扱いやすく単純化された μ モデルのギャップジャンクション結合系についてシミュレーションを行った。

結合様式を一次元最近接結合にした系において、ニューロンに与える外部刺激入力(電流)の強さ、結合強度を変えることにより、様々な時空パターンを見出した。

外部刺激入力を固定して、結合強度を変化させると、強度の大きいところでは、全てのニューロンの発火が同期した状態又は、ニューロンの発火のタイミングが少しずつずれたメタルロナル状態が現れる。結合強度が小さいところではニューロンの発火が非同期で乱れた高次元のカオス状態となる。結合強度が中間領域ではニューロンが殆んど同期して発火する状態と非同期発火の乱れた状態が不規則に繰り返されるカオスの遍歴状態が現れる。

このカオスの遍歴状態は、低次元のアトラクター痕跡である殆んど全てのニューロンが同期した幾つかの状態の間を高次元のカオスの状態を通じて行き来する現象である。この遍歴現象は比較的広いパラメータ領域で普遍的に存在することも分った。

このカオスの遍歴の状態のリヤプノフ指数を計算すると収束が非常に遅いことが分った。

低次元のアトラクター痕跡に滞在する時間の平均を(ギャップジャンクションの結合強度を固定して)外部刺激入力の強さの関数として LOG-LOG プロットした結果から、外部刺激入力の小さいところでの周期的な状態からカオスの遍歴への分岐が 1 回で起こるのではなく、2 段階を経て起こるらしいことが

分って来た。

この遍歴現象についてアニメーション化したものが、

"International School on Neural Nets "E.R. Caianiello" 8th Course:
Computational Neuroscience: Cortical Dynamics"

において、津田教授によって紹介された。またこのアニメーションは東京書籍の高校物理の教師教材用のCDROMに収録された。

以上の研究は当専攻の津田一郎教授、研究生の安岡卓男氏、大学院生山口裕氏、京都産業大学藤井宏教授との共同研究であることを付記しておきます。

発表論文リスト

1. "Nucleon-Nucleon Short-range Correlation and High Momentum Components in Nuclei"
Satoru Tadokoro, Toshiyuki Katayama, Yoshinori Akaishi and Hajime Tanaka,
Progress of Theoretical Physics, 78(1987) 732-735, October 1987, Progress Letters"
2. "Σ-Hypernuclear States in 208Pb"
Khin Swe Myint, Satoru Tadokoro and Yoshinori Akaishi,
Progress of Theoretical Physics 82(1989) 112-118, July 1989
3. "Σ-Hypernuclear States in 208Pb and the Nucleus-Σ Potential"
Satoru Tadokoro,
Ph. D Thesis, Hokkaido University, September 1990
4. "Nucleus-Σ Potential"
Satoru Tadokoro and Yoshinori Akaishi,
Physical Review C42(1990) 2591-2596, December 1990
5. "Production of heavy Σ--Hypernuclei by the (π-,K+) Reaction"
Satoru Tadokoro and Yoshinori Akaishi,
Physics Letters B282(1992) 19-23, June 1992
6. "Calculation of Proton Spin-dependent Structure Functions in Quark Models"
Satoru Tadokoro, Hisashi Kitagawa and Toru Suzuki,
Physical Review D47(1993) 3045-3048
7. "Calculation of Proton Spin Structure Functions in Quark Models"
Satoru Tadokoro, Hisashi Kitagawa and Toru Suzuki,
Frontiers of High Energy Spin Physics (Proceedings of High Energy Spin Physics, 9-14 November 1992, Nagoya, Japan, Universal Academy Press, 1993) edited by Hasegawa et al., 567-570
8. "Ξ-Hypernuclear States in Heavy Nuclei"
Satoru Tadokoro, Hisashi Kobayashi and Yoshinori Akaishi,
Nucl. Phys. A585(1995) 225c
(Proceeding of International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics, Vancouver, B.C. 4-8 July, 1994)
9. "Escaping of Quasi-free Ξ- at (K-,K+) reaction point and ΞN interaction"
Satoru Tadokoro and Yasuo Yamamoto,
Nucl. Phys. A585(1995) 361c
(Proceeding of International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics, Vancouver, B.C. 4-8 July, 1994)
10. "Ξ--Hypernuclear States in Heavy Nuclei"
Satoru Tadokoro, Hisashi Kobayashi and Yoshinori Akaishi
Physical Review C51(1995) 2656
11. "Chaotic Itinerancy in Cortical Gap Junction Systems and Its Functional Significance"
I. Tsuda, H. Fujii*, S. Tadokoro and T. Yasuoka
submitted to Journal of Integrative Neuroscience

口頭発表リスト

国際会議に於ける発表

1. " Σ^- -Hypernuclear spectra from the $^{208}\text{Pb}(\pi^-, K^+)$ Reaction"
Satoru Tadokoro and Yoshinori Akaishi,
International Symposium on Hypernuclear and Strange Particle Physics,
December 9-12 1991, Shimoda
2. "Calculation of Proton Spin Structure Functions in Quark Models"
Satoru Tadokoro, Hisashi Kitagawa and Toru Suzuki,
10-th International Symposium on High Energy Spin Physics,
November 1992, Nagoya
3. " Ξ^- -Hypernuclear States in Heavy Nuclei"
Satoru Tadokoro, H. Kobayashi and Y. Akaishi
International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics,
Vancouver, B.C. 4-8 July, 1994
4. "Escaping of Quasi-free Ξ^- at (K^-, K^+) reaction point and ΞN interaction "
Satoru Tadokoro and Yasuo Yamamoto
International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics,
Vancouver, B.C. 4-8 July, 1994

日本物理学会における発表

1. " γ -スケーリング関数と核内の高運動量成分"
田所智、片山敏之、赤石義紀、日本物理学会 1986 年秋の分科会、
1986 年 10 月、神戸市 (甲南大学)
2. "スペクトル関数と核内の高運動量成分"
田所智、片山敏之、赤石義紀、田中一、日本物理学会第 42 回年会、
1987 年 3 月、名古屋市 (名古屋工業大学)
3. "核子間短距離相関と核内核子間の相対運動量分布"
田所智、森田彦、片山敏之、赤石義紀、田中一、
日本物理学会 1987 年秋の分科会、
1987 年 10 月、宇都宮市 (宇都宮大学)
4. "Spectroscopic Amplitude for $(^3\text{He}, d)$ and (d, d) Reaction"
森田彦、田所智、赤石義紀、田中一、日本物理学会 1987 年秋の分科会、
1987 年 10 月、宇都宮市 (宇都宮大学)
5. " Σ -hypernuclear States in ^{208}Pb "
Khin Swe Myint、田所智、赤石義紀、
日本物理学会第 44 回年会
1989 年 3 月、平塚市 (東海大学湘南校舎)
6. " $\Sigma^?$ ハイパー核の L S 力"
田所智、赤石義紀、日本物理学会 1989 年秋の分科会、1989 年 10 月、
宮崎市 (宮崎大学)
7. "重い Σ ハイパー核"
田所智、Khin Swe Myint、赤石義紀、日本物理学会
1990 年秋の分科会、1990 年 10 月 奈良市 (奈良女子大学)
8. "重い Σ ハイパー核の生成"
田所智、赤石義紀、日本物理学会 1991 年春の分科会、1991 年 3 月 東京
(東京理科大学)
9. " Σ ハイパー核生成と核子間短距離相関"
田所智、日本物理学会第 46 回年会、1991 年 9 月、札幌市 (北海道大学)
10. "Structure Functions of the Proton in Quark Models"
田所智、北川尚、鈴木徹

日本物理学会 1992 年秋の分科会 1992 年 10 月、新潟市 (新潟大学)

11. "核子の表面形状と構造関数"

北川尚、田所智、鈴木徹、

日本物理学会 1992 年秋の分科会 1992 年 10 月、新潟市 (新潟大学)

12. "S=-2 Heavy Hypernuclei"

田所智、Khin Swe Myint、新村昌治、赤石義紀

日本物理学会 1992 年秋の分科会 1992 年 10 月、新潟市 (新潟大学)

13. "Structure Functions of the Proton in Quark Models II"

田所智、北川尚、鈴木徹

日本物理学会第 48 回年会 1993 年 3 月、仙台市 (東北大学)

14. "光円錐波動関数での構造関数"

北川尚、田所智、鈴木徹

日本物理学会第 48 回年会 1993 年 3 月、仙台市 (東北大学)

15. "Parton Distributions in the Nucleon"

田所智、北川尚、鈴木徹

日本物理学会 1993 年秋の分科会 1993 年 10 月、高知市 (高知大学)

16. "Distribution of Perturbative Gluon in Bag Models"

北川尚、西野吉則、田所智、鈴木徹

日本物理学会 1993 年秋の分科会 1993 年 10 月、高知市 (高知大学)

17. "重い Ξ ハイパー核"

田所智、小林広幸、赤石義紀

日本物理学会第 49 回年会 1994 年 3 月、福岡市 (福岡工業大学)

18. " Λ -hypernuclear Spectra from (π^+, K^+) Reactions"

田所智、小林広幸、赤石義紀

日本物理学会 1994 年秋の分科会 1994 年 9 月、山形市 (山形大学)

19. " Ξ ハイパー核生成 II"

田所智、小林広幸、赤石義紀

日本物理学会 1994 年秋の分科会 1994 年 9 月、山形市 (山形大学)

20. " Ξ^- escaping at the (K^-, K^+) Reaction points and ΞN interaction"

田所智、山本安夫

日本物理学会 1994 年秋の分科会 1994 年 9 月、山形市 (山形大学)

研究会での発表

1. "Nucleus- Σ Potential"

田所智、赤石義紀

基研モレキュール研究会『 Σ ハイパー核の理論的研究』

1990 年 8 月 基礎物理学研究所

2. "連続状態の Σ ハイパー核"

田所智、赤石義紀、向井重雄

核研研究会『Hypernuclear and Strange Particle Physics』

1990 年 12 月 東京大学原子核研究所

3. "Production of Heavy Σ -Hypernuclei by the (π^-, K^+) Reaction"

田所智、赤石義紀

基研長期研究会『ハイパー核の構造、生成、崩壊』

1991 年 8 月 基礎物理学研究所

4. "陽子のスピン構造関数"

田所智、北川尚、鈴木徹

名古屋大学理学部研究会『ハドロン構造とスピン』

1992 年 2 月 名古屋大学理学部

5. "核子の構造関数のモデル計算"

田所智、北川尚、鈴木徹

R C N P 研究会『原子核におけるクォーク、ハドロンのダイナミクス』

1992年6月 大阪大学RCNP

6. "重いダブルハイパー核"

田所智、Khin Swe Myint、新村昌治、赤石義紀
原子核研究所研究会 『ストレンジネスの物理』
1993年2月 東京大学原子核研究所

7. "核子の構造関数のモデル計算"

田所智、北川尚、鈴木徹
RCNPワークショップ 『核子及び原子核の構造関数』
1993年8月

8. "Q²-evolution of the Nucleon Structure Function"

田所智、北川尚、鈴木徹
基研研究会 『原子核に於けるクォーク、ハドロンのダイナミクス』
1993年12月 京都大学基礎物理学研究所

9. "バグ模型に於けるグルオン分布関数"

北川尚、田所智、鈴木徹
基研研究会 『原子核に於けるクォーク、ハドロンのダイナミクス』
1993年12月 京都大学基礎物理学研究所